

**Universidade Estadual de Maringá**  
**Centro de Tecnologia**  
**Departamento de Informática**

**QUALIDADE OPERACIONAL EM UMA EMPRESA METAL-  
MECÂNICA ATRAVÉS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE  
PROCESSO**

*Roberto Castro Vessoni*

**TG-EP-48-05**

**Maringá - Paraná**

**Brasil**

Universidade Estadual de Maringá  
Centro de Tecnologia  
Departamento de Informática

**QUALIDADE OPERACIONAL EM UMA EMPRESA METAL-  
MECÂNICA ATRAVÉS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE  
PROCESSO**

*Roberto Castro Vessoni*

**TG-EP-48-05**

Trabalho de Graduação apresentado ao Curso de  
Engenharia de Produção, do Centro de Tecnologia, da  
Universidade Estadual de Maringá.  
Orientador: *Prof. MSc. Daily Morales*

**Maringá - Paraná  
2005**

**ROBERTO CASTRO VESSONI**

**QUALIDADE OPERACIONAL EM UMA EMPRESA METAL-MECÂNICA**

**ATRAVÉS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do Título de *Bacharel em Engenharia de Produção*, pela Universidade Estadual de Maringá, Campus de Maringá, aprovada pela Comissão formada pelos professores:

---

Prof. MSc. Daily Morales (Orientador)  
Colegiado de Engenharia de Produção,  
UEM

---

Prof (a) MSc. Maria de Lourdes  
Santiago Luz  
Colegiado de Engenharia de Produção,  
UEM

---

Prof (a) Dr(a) Márcia Marcondes  
Altimari Samed  
Colegiado de Engenharia de Produção,  
UEM

**Maringá, 07 de dezembro de 2005**

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Estadual de Maringá e seu qualificado corpo docente, pelos anos de aprendizado técnico e por me ensinar o verdadeiro sentido da palavra “companheirismo”.

Ao orientador, prof. Daily Morales. Sua dedicação à UEM, ética e valores serviram de exemplos e, seus conselhos, me direcionaram na elaboração deste trabalho.

Aos professores e funcionários do departamento de Engenharia de Produção, pelo convívio gratificante em todos estes anos.

À M. Lamon – Implementos Agrícolas pela confiança no trabalho de um jovem profissional. O apoio e incentivo desta empresa durante meus estudos de graduação foram extremamente valiosos. Agradeço ao Sr. Mário Lamon por seu exemplo de sobriedade, confiança e reconhecimento, pela amizade e total apoio.

Dedico,

Aos meus pais, Domicio Vessoni e Silvana Castro Vessoni, pelo constante apoio, incentivo e reconhecimento. Minha eterna gratidão.

Ao meu irmão Eduardo Castro Vessoni, pela alegria da convivência familiar.

À Camila Aran Borin, pelo amor e cumplicidade, pela compreensão nos momentos de ausência e pelo companheirismo. Meu reconhecimento e eterno carinho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>7</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>8</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	<b>9</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>10</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1 MOTIVAÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>1.2 OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i> .....	11
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	11
<b>1.3 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>12</b>
<b>1.4 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO</b> .....	<b>13</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1 CONTROLE DA QUALIDADE EM PROCESSOS PRODUTIVOS</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2 HISTÓRICO DA QUALIDADE</b> .....	<b>14</b>
<b>2.3 DEFINIÇÃO DE QUALIDADE</b> .....	<b>17</b>
<b>2.4 O CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS (CEP)</b> .....	<b>18</b>
<b>2.5 CONCEITOS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS (CEP)</b> .....	<b>19</b>
2.5.1 <i>Indicadores da qualidade</i> .....	19
2.5.2 <i>Padrões da qualidade</i> .....	19
<b>2.6 CICLO PDCA</b> .....	<b>20</b>
<b>2.7 FUNDAMENTOS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS</b> .....	<b>21</b>
2.7.1 <i>Cartas de Controle</i> .....	21
2.7.2 <i>Variação: Causas Comuns e Especiais</i> .....	23
2.7.3 <i>Capabilidade do Processo</i> .....	24
2.7.4 <i>Definição de Medidas do Processo (Cp e Cpk)</i> .....	25
<b>2.8 FERRAMENTAS DA QUALIDADE</b> .....	<b>25</b>
2.8.1 <i>Coleta de Dados</i> .....	26
2.8.2 <i>Diagrama de dispersão</i> .....	27
2.8.3 <i>Gráfico de controle</i> .....	28
2.8.4 <i>Diagrama de Pareto</i> .....	29

2.8.5	Histogramas.....	30
2.8.6	Diagrama de causa e efeito.....	31
<b>3</b>	<b>APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS.....</b>	<b>33</b>
3.1	ESCOLHA DO PRODUTO .....	33
3.2	FLUXOGRAMA DE OPERAÇÕES .....	34
3.3	IDENTIFICAÇÃO DAS OPERAÇÕES CRÍTICAS .....	35
3.4	PLANOS DE CONTROLE.....	36
3.4.1	Aplicação dos Planos de Controle .....	37
3.5	APLICAÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLE.....	39
<b>4</b>	<b>APLICAÇÃO DO CEP PARA OPERAÇÃO 30.....</b>	<b>41</b>
4.1	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA .....	41
4.2	CÁLCULO DA MÉDIA ( $\bar{X}$ ) E AMPLITUDE (R).....	41
4.3	CÁLCULO DA AMPLITUDE MÉDIA ( $\bar{R}$ ) E MÉDIA DO PROCESSO ( $\bar{\bar{X}}$ ).....	41
4.4	CÁLCULO DOS LIMITES DE CONTROLE .....	42
4.5	VALORES .....	43
4.5.1	Limites de Controle.....	44
4.6	GRÁFICOS.....	44
4.6.1	Gráfico de Controle para $\bar{\bar{X}}$ .....	44
4.6.2	Gráfico de Controle para $\bar{R}$ .....	45
4.6.3	Histograma .....	45
4.7	ANÁLISE.....	46
4.7.1	Gráficos de Controle .....	46
4.7.2	Verificação da Normalidade da Distribuição .....	46
4.8	CAPACIDADE DO PROCESSO.....	46
4.8.1	Índice de Capabilidade do Processo (Cp).....	47
4.8.2	Índice de Capabilidade do Processo (Cpk).....	47
4.8.3	Exigências do Cliente quanto ao Cpk.....	48
<b>5</b>	<b>APLICAÇÃO DO CEP PARA OPERAÇÃO 40.....</b>	<b>50</b>
5.1	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA .....	50
5.2	CÁLCULO DA MÉDIA ( $\bar{X}$ ) E AMPLITUDE (R) .....	50

<b>5.3 CÁLCULO DA AMPLITUDE MÉDIA (<math>\bar{R}</math>) E MÉDIA DO PROCESSO (<math>\bar{X}</math>)</b> .....	<b>50</b>
<b>5.4 CÁLCULO DOS LIMITES DE CONTROLE</b> .....	<b>50</b>
<b>5.5 VALORES</b> .....	<b>51</b>
5.5.1 <i>Limites de Controle</i> .....	51
<b>5.6 GRÁFICOS</b> .....	<b>52</b>
5.6.1 <i>Gráfico de Controle para <math>\bar{X}</math></i> .....	52
5.6.2 <i>Gráfico de Controle para <math>\bar{R}</math></i> .....	52
5.6.3 <i>Histograma</i> .....	53
<b>5.7 ANÁLISE</b> .....	<b>54</b>
5.7.1 <i>Gráficos de Controle</i> .....	54
5.7.2 <i>Verificação da Normalidade da Distribuição</i> .....	54
<b>5.8 CAPACIDADE DO PROCESSO</b> .....	<b>54</b>
5.8.1 <i>Índice de Capabilidade do Processo (Cp)</i> .....	55
5.8.2 <i>Índice de Capabilidade do Processo (Cpk)</i> .....	55
5.8.3 <i>Exigências do Cliente quanto ao Cpk</i> .....	55
<b>6 RESULTADOS E CONCLUSÕES</b> .....	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>58</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1. Ciclo PDCA .....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 2. Estratégia para melhoria contínua no controle estatístico de processos.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 3. Folha de verificação .....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 4. Diagrama de dispersão .....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 5. Gráfico de Controle.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 6. Gráfico de Pareto .....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 7. Histograma .....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 8. Diagrama de causa e efeito.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 9. ML0003 – CUBO.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 10. Fluxograma de operações.....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 11. Ilustração das operações.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 12. Plano de Controle para Operação 30 .....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 13. Plano de Controle para a Operação 40 .....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 14. carta de controle para a média .....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 15. Carta de Controle para a Amplitude .....</b>	<b>i</b>
<b>Figura 16. Gráfico de Controle para <math>\bar{X}</math> .....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 17. Gráfico de Controle para <math>\bar{R}</math> .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 18. Histograma para a operação 30 .....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 19. Gráfico de Controle para <math>\bar{X}</math> .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 20. Gráfico de Controle para <math>\bar{R}</math> .....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 21. Histograma para Operação 40 .....</b>	<b>53</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1. Constantes para o Cálculo dos Limites de Controle.....</b>	<b>43</b>
<b>TABELA 2. VALORES (OPERAÇÃO30).....</b>	<b>43</b>
<b>Tabela 3. Constantes para o Cálculo de Desvio Padrão.....</b>	<b>47</b>
<b>Tabela 4. Valores (Operação 40).....</b>	<b>51</b>

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CEP	Controle Estatístico de Processos
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis

## RESUMO

Devido a um mercado globalizado e de competitividade cada vez mais acirrada, empresas estão conscientizando-se da necessidade de um processo de melhoria contínua. Isto também se deve ao fato de que clientes e consumidores estão preocupando-se cada vez mais com produtos de alta qualidade. O momento econômico atual obriga os empresários a adequarem suas linhas e sistemas produtivos, buscando novas tecnologias e soluções gerenciais que os fortaleçam na administração de suas empresas. Deste modo, defeitos ou falhas em suas operações produtivas devem ser detectadas e corrigidas, de modo a tornar os processos mais eficientes e, conseqüentemente, menos onerosos. Esta busca por menores custos e obtenção de melhorias nos processos produtivos, pode ser alcançada pela implantação da gestão pela qualidade à administração empresarial. Para a obtenção de produtos com alta qualidade, empresas buscam a redução de desperdícios na produção, redução de produtos defeituosos fabricados, que exigirão retrabalho e conseqüentemente maiores custos e queda de produtividade. Deste modo, este estudo tem por objetivo avaliar as operações que são consideradas críticas e exigem alta qualidade para a satisfação dos clientes através de ferramentas básicas do Controle Estatístico de Processos (CEP), em uma indústria metal-mecânica. Esta empresa foi escolhida por demonstrar interesse no controle de seus produtos e uma busca pela melhoria contínua em seus processos de produção.

**Palavras chave:** Qualidade, Retrabalho, Controle Estatístico de Processos.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Motivação

A empresa escolhida para a realização deste trabalho tem por finalidade a produção de implementos agrícolas, o que nos dias de hoje tornou-se um mercado muito promissor. Esta empresa possui um alto faturamento em relação ao seu número de funcionários, o que proporciona um desafio otimizar a conformidade de seus produtos durante seu processo de fabricação.

Este trabalho visa identificar e avaliar operações produtivas não conformes. Considerando que a mesma busca soluções para problemas relacionados ao alto índice de retrabalho e refugo de peças originado nos processos de usinagem. Este trabalho tem o intuito de aplicar ferramentas básicas do Controle Estatístico de Processos (CEP), buscando a qualidade contínua dos produtos.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

Controle de processos através de ferramentas básicas do Controle Estatístico de Processos em uma empresa metal-mecânica, buscando a redução de refugos e retrabalhos durante o processo de fabricação através da melhoria contínua.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar as ferramentas básicas do CEP de acordo com a literatura disponível;
- Definir como o CEP pode contribuir no planejamento e controle da qualidade;
- Identificar as possibilidades e dificuldades que podem aparecer;
- Fazer o uso das ferramentas básicas do CEP adequadas ao longo do processo de produção para ações corretivas;
- Sugestão de mudanças que possam vir a contribuir no processo produtivo, para reduzir o índice de refugo e retrabalho, conseqüentemente a redução de custos.

### 1.3 Justificativa

Um dos mercados mais ascendentes nos dias de hoje é o agronegócio. Devido ao alto custo do sistema produtivo agrícola, as operações mecanizadas representam um ponto estratégico para o desenvolvimento de técnicas de otimização e redução dos mesmos. O uso de colheitadeiras e máquinas agrícolas tornou-se hoje indispensável pelos produtores rurais devido a um mercado muito competitivo. Estes produtores estão inovando seus maquinários com tecnologia e preocupando-se com a qualidade de peças compradas para seus maquinários.

Devido à ascensão do agronegócio e a esta preocupação por parte dos produtores rurais em relação a seus maquinários, o mercado de venda de peças para colheitadeiras torna-se muito promissor e lucrativo.

Nos dias de hoje consumidores tornaram-se muito mais exigentes em relação a produtos e serviços oferecidos pelas empresas de diversos setores, gerando assim maior competitividade entre as empresas, o que acarreta na busca de uma melhoria contínua de seus processos e produtos.

Segundo Werkema (1995, p.2), a venda de produtos de baixa qualidade, defeituosos ou com baixa confiabilidade, são pontos negativos para as empresas, que as levarão a perder gradativamente sua parcela no mercado. A implantação de um Controle Estatístico de Processos pode eliminar esses pontos negativos, diminuir a necessidade da realização de inspeção e aumentar a satisfação do cliente, fatores que implicam em um aumento da produtividade e competitividade das empresas.

Qualidade, hoje é um requisito fundamental para qualquer empresa que queira sobreviver no mercado competitivo de hoje. Esta empresa escolhida para avaliação deve propor-se a analisar e tentar reduzir a quantidade de retrabalho em seus produtos durante seu processo de fabricação.

#### **1.4 Delimitações do Trabalho.**

Devido a grande quantidade de produtos fabricados pela empresa M. Lamon – Implementos Agrícolas, aproximadamente 3500 itens, o que torna inviável aplicar o controle estatístico de processos em todos os produtos, este trabalho traz o controle estatístico de processos aplicados a produtos de alto faturamento e produtos nas quais algumas operações devem ser rigorosamente controladas para a satisfação destes respectivos clientes.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo aborda uma revisão de literatura sobre controle da qualidade em processos produtivos, históricos da qualidade, ferramentas do controle estatístico de processos e ferramentas da qualidade. Este capítulo trás idéias e pensamentos de autores consagrados com o intuito de transmitir para o leitor definições e históricos de qualidade, que possam auxiliar no controle de processos produtivos.

### 2.1 Controle da Qualidade em Processos Produtivos

Segundo Chiavenato (1992, p.617), atualmente a administração de qualquer sistema de produção tornou-se tão importante quanto o próprio trabalho a ser executado, conforme este vai se especializando e a escala de operações se amplia. A administração não é um fim em si mesma, mas um meio de fazer com que os processos sejam realizados da melhor forma possível, com o menor custo e com maior eficiência e eficácia.

Campos (1999, p.13), afirma que na abordagem administrativa nas empresas, o Controle da Qualidade Total (CQT) objetiva justamente a criação de condições internas que garantam a execução dos processos adequadamente, com custos e eficiência otimizados, assegurando a sobrevivência das organizações a longo prazo.

Slack *et al* (2002, p.70) enfatiza que o conceito de qualidade não deve restringir-se apenas na etapa final de produção, pois cada produto defeituoso representa desperdício de material, tempo e energia, além de comprometer a imagem do produto e fabricante. Logo, a qualidade deve ser incorporada aos processos produtivos e administrativos, buscando a qualidade da empresa como um todo e não somente do produto final.

### 2.2 Histórico da Qualidade

Para Caravantes (1997, p. 24), nos séculos XVIII e XIX, a concepção do que vinha a ser qualidade, bem como seus controles, diferia muito da qualidade tal como conhecemos hoje. Quase tudo era fabricado por artesões e artífices habilitados ou por trabalhadores experientes e aprendizes sob supervisões dos mestres de ofício. Segundo Juran (1992, p. 21), antes do século XIV, o gerenciamento da qualidade baseava-se em dois princípios:

- a) Inspeção dos produtos pelo consumidor (que ainda hoje é usado nos mercados das aldeias);
- b) O conceito de artesão, onde os compradores confiavam na técnica e na reputação de artesãos treinados e experientes.

De acordo com Juran (1992, p. 21), a inspeção só passou a ser necessária com o surgimento da produção em massa e com a necessidade de peças intercambiáveis. Com a expansão do comércio e o aumento da tecnologia, conceitos e ferramentas adicionais foram inventadas afim de assistir o gerenciamento para a qualidade: verificação por amostragem, garantias de qualidade nos contratos de venda.

No século XX, Frederick W. Taylor, deu legitimidade de medição, e principalmente de inspeção, separando-a como tarefa a ser atribuída a chefes funcionais. No decorrer destas mudanças, a prioridade dada a qualidade caiu sensivelmente. Segundo Juran:

“...a responsabilidade quanto a função da qualidade tornou-se vaga e confusa. Nos dias dos artesãos, o mestre (então também o executivo chefe) participava pessoalmente no processo de gerenciamento para a qualidade. O que surgiu foi um conceito no qual a alta gerência separou-se do processo de gerenciamento para a qualidade.” (apud JURAN, 1992. p.21)

Não só a alta gerência se distanciou do processo de gerenciamento para a qualidade, como também o trabalhador, pela limitação deste a executar uma única tarefa na linha de produção este se distanciou do produto final.

Garvin (1992, p.4) relata, que na década de trinta, Walter Shewhart (que fazia parte de um grupo maior dos *Bell Telephone Laboratories* que estava investigando problemas da qualidade) desenvolveu técnicas de controle estatístico da qualidade. Shewhart criou técnicas de acompanhamento e avaliação da produção e propôs diversas maneiras de se melhorar a qualidade. Toda a análise de Shewhart de como distinguir-se as variações aceitáveis, e as flutuações que indicassem problema, derivou do conceito de controle estatístico.

Juran (1992, p.5), agrupa o conceito de Shewhart dentro de um grupo mais genérico chamado Engenharia da Qualidade. Segundo o autor, “*essa especialidade origina-se na aplicação de métodos estatísticos para o controle da qualidade em fabricação*”.

Caravantes (1997, p.64) relata, que após o final da Segunda Guerra Mundial, quando o conceito abrangente de gestão pela qualidade foi desenvolvido no Japão e passou a ser

encarado como uma esperança à situação de crise enfrentada pelo país, especialmente devido à sua capacidade de redução de custos de produção. O desenvolvimento deste conceito teve referência teórica e acompanhamento de cientistas norte-americanos, podendo-se citar essencialmente dois nomes, Deming e Juran, para os quais, qualidade fundamenta-se na eliminação de erros sistemáticos na produção e ausência de deficiências no produto.

Na década de 1960, o mercado mundial sofreu mudanças significativas com o emprego de altas tecnologias de produção, redução das barreiras internacionais e acirramento da competitividade internacional, fatores que alteraram o comportamento dos consumidores, os quais passaram a exigir produtos de melhor qualidade a preços mais acessíveis (Sashkin, 1994, p.24).

Caravantes (1997, p.69) afirma que o impulso para a melhoria do desempenho operacional e organizacional tem sido uma constante. Durante trezentos anos, a principal maneira de avaliar a economia era a produtividade. Isto não é mais verdade. A produtividade é uma necessidade da competitividade, mas a velocidade e a flexibilidade surgiram como novas exigências. Assim, a necessidade de velocidade para atender as exigências do mercado tem colocado um peso extra na gestão empresarial, exigindo métodos e estratégias inovadoras.

A vantagem competitiva entre as empresas estava centrada na eficiência interna de seu processo produtivo, ou seja, no volume de produção. Palavras como qualidade, marketing e cliente, raramente eram preocupações das organizações.

O autor afirma que foi somente no início dos anos 90 que a qualidade deixou de estar associada apenas a produção, aos produtos ou a aplicação de técnicas e passou a designar o modelo de gestão. Saiu do conceito de qualidade orientada para a inspeção e o controle estatístico do processo (CEP) para uma idéia mais abrangente que engloba várias funções como aperfeiçoamento constante, erro zero, gestão participativa e satisfação ao cliente. Com isto surge um modelo da Qualidade Total. Tendo ela uma abordagem sobre a qualidade com caráter mais abrangente e preventivo. Além disso, ela é totalmente associada à satisfação dos clientes, abrangendo assim, não somente os produtos, como também os serviços e os processos que geram os produtos e serviços.

### 2.3 Definição de Qualidade

O termo Qualidade vem sendo analisado sob várias abordagens distintas, originando inúmeros conceitos e definições.

Assim, para Juran (1992, p.16), qualidade é a adequação ao uso, ou seja, um produto deve atender às exigências dos consumidores, cumprindo adequadamente suas funções.

Para Ishikawa (1993, p.48), qualidade consiste em desenvolver, criar e fabricar mercadorias mais econômicas, úteis e satisfatórias para o comprador. Administrar a qualidade é também administrar o preço de custo, o preço de venda e o lucro. No entanto, outro japonês, Taguchi, considera que a qualidade consiste em minimizar as perdas causadas pelo produto não apenas ao cliente, mas a sociedade, à longo prazo. Enquanto Crosby estabelece que qualidade quer dizer conformidade com as exigências. Feigenbaum acha que qualidade quer dizer o melhor para certas condições do cliente. Essas condições são: verdadeiro uso, e o preço de venda do produto, a satisfação completa do cliente. Para Deming, qualidade significa atender e, se possível, exceder as expectativas do consumidor (Slack *et al*, 2002, p.662).

Qualidade pode ser definida de várias maneiras, como excelência (qualidade significa o melhor que se pode fazer, o padrão mais elevado de desempenho); valor (qualidade significa ter mais atributos, usar materiais ou serviços raros, que custam mais caro); especificações (qualidade planejada, definição de como o produto ou serviço deve ser); conformidade (qualidade significa o produto ou serviço estar de acordo com as especificações do projeto); regularidade (qualidade significa uniformidade, de forma que produtos e serviços sejam os mais parecidos possíveis); adequação ao uso (qualidade significa adequado projeto e ausência de deficiências).

Campos (1999, p.2), divide o conceito de qualidade total em cinco dimensões, a qualidade intrínseca, o custo, a entrega, o moral e a segurança. A qualidade intrínseca está diretamente ligada à satisfação das necessidades dos clientes; o custo refere-se ao aporte de capital para produção do bem; a entrega significa pontualidade nos prazos estipulados; o moral é o alicerce da qualidade e reflete o ambiente de trabalho e comprometimento da equipe; e segurança engloba tanto aspectos de segurança do processo, quanto de uso seguro do produto pelos consumidores. O autor considera estas cinco dimensões da qualidade total como

“pilares” que sustentam a sobrevivência da empresa no mercado.

A Norma ISO (*International Organization for Standardization*) define qualidade como a totalidade das características de uma entidade (empresa de prestação de serviços) que lhe confere a capacidade de satisfazer necessidades explícitas (especificadas no contrato) e implícitas (não especificadas no contrato, mas que a empresa deve satisfazer, para obter um diferencial competitivo) dos clientes. (Mello *et al*, 2002, p.15).

Caravantes (1997, p.78) afirma que a qualidade deve ser vista sob dois aspectos, a de projeto, que diferencia os bens de luxo dos bens populares e a de conformação, na qual verificam-se os produtos de acordo com as especificações de projeto. Portanto, para a autora, dois produtos jamais serão idênticos em função da variabilidade de produção e, assim, qualidade é definida como a redução da variabilidade, a qual pode ser obtida pelo Controle Estatístico do Processo.

#### **2.4 O Controle Estatístico de Processos (CEP)**

Werkema (1995, p.6) define o CEP como uma ferramenta para manutenção das variáveis dentro dos limites ou padrões estabelecidos por normas técnicas, a fim de que o processo se comporte de forma controlada. Por este processo, as conclusões e tomadas de decisões sempre estão embasadas em dados numéricos (estatísticos), constituídos pela combinação entre mão de obra, materiais, máquinas, métodos, meio ambiente e medições.

Para Campos (1999, p.17), os resultados obtidos com as melhorias devem ser mantidos através de um bom gerenciamento, no qual o método mais adequado seria o emprego do controle estatístico de processos (CEP).

Segundo Ishikawa (1993, p.45) o uso das ferramentas estatísticas da qualidade podem resolver aproximadamente 95% dos problemas de qualidade em qualquer tipo de organização, seja industrial, comercial, de pesquisa ou prestação de serviços.

Werkema (1995, p.6), cita que as vantagens da introdução do CEP na administração empresarial são o surgimento do conhecimento significativo e a compreensão dos processos, obtendo maior estabilidade e previsibilidade do processo, a dependência da inspeção em massa pode ser eliminada ou reduzida com a maior delegação do gerenciamento do processo aos operadores, os custos da não-qualidade (retrabalhos, refugos e insatisfação do cliente)

podem ser minimizados, as programações de operações são cumpridas com conseqüente ganho de produtividade.

## **2.5 Conceitos do Controle Estatístico de Processos (CEP)**

### **2.5.1 Indicadores da qualidade**

Segundo Mello *et al* (2002, p.183), para avaliar um processo ou operação, é necessário definir alguns indicadores dentro do processo, a fim de se permitir a inferência do resultado final como adequado ou fora da qualidade desejada. Desta forma, as aspirações em relação à operação devem ser traduzidas em indicadores mensuráveis ou passíveis de avaliação, utilizando-se linguagem técnica e objetiva.

### **2.5.2 Padrões da qualidade**

Na filosofia da qualidade existem dois tipos de gerenciamento, o da rotina e o das melhorias. No primeiro, o gerenciamento é baseado no planejamento, execução, checagem e correção de falhas, ou seja, é de responsabilidade dos funcionários e deve garantir o bom andamento da rotina de trabalho. Já no segundo tipo de gerenciamento, a diretoria da empresa é responsável pela melhoria das operações, objetivando adequação de máquinas e equipamentos, bem estar dos funcionários, maior competitividade de seus produtos e redução de custos (Mello, 2002, p.81).

Assim, para cada indicador de qualidade, devem ser definidos os padrões de qualidade ou as especificações que cada um deles deve respeitar, de modo que o gerenciamento da rotina possa ser realizado adequadamente pelos funcionários.

Portanto, na implantação dos padrões de qualidade deve-se, primeiramente, conhecer a realidade de execução das operações, a fim de se definir valores máximos e mínimos (amplitude) permitidos a cada operação. Obtendo-se sucesso na primeira etapa, ou seja, alcançando-se a regularidade da rotina de trabalho, a diretoria deve assumir o gerenciamento das melhorias e estipular novos limites ou padrões, adotando um processo de melhoria contínua dentro da empresa.

## 2.6 Ciclo PDCA

Mello *et al* (2002, p.53), afirma que dentro do contexto de gestão da qualidade, o ciclo PDCA é um ciclo dinâmico podendo ser desdobrado dentro de cada processo da organização e para o sistema de processos em sua totalidade. Ele está intimamente associado com o planejamento, implementação, controle e melhoria contínua dos processos de produção e do sistema de gestão da qualidade. O ciclo PDCA pode ser demonstrado na Figura 1.

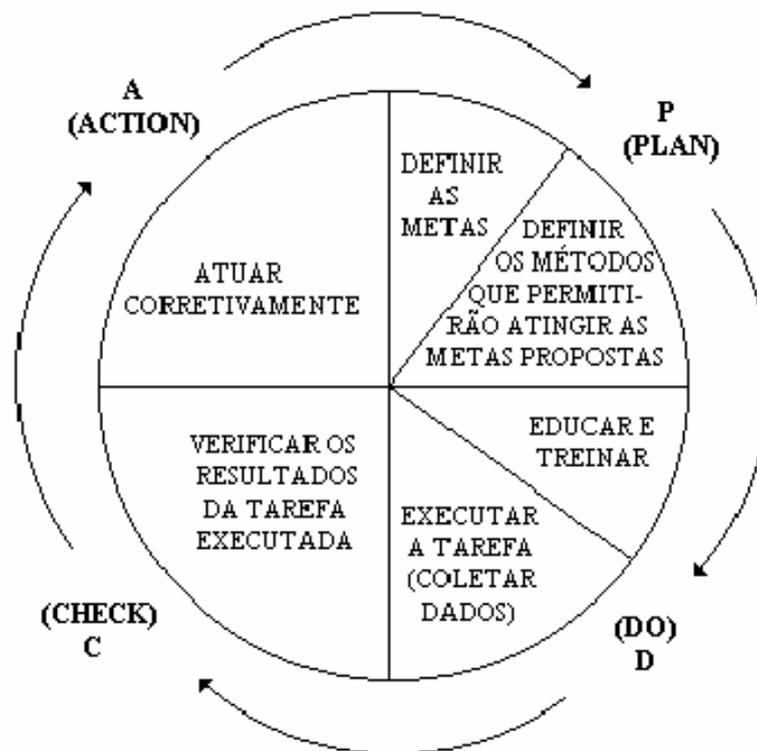


Figura 1. Ciclo PDCA

Campos (1992, p.29), explica que o ciclo PDCA tem os seguintes significados:

a. P (Plan = Planejar)

Definir o problema, planejar o que será feito, estabelecer metas e definir os métodos que permitirão atingir as metas propostas.

b. D (Do = Executar)

Tomar iniciativa, educar, treinar, implementar, executar o planejado conforme as metas e métodos definidos.

c. C (Check = Verificar)

Verificar os resultados que se está obtendo, verificando continuamente os trabalhos para ver se estão sendo executados conforme planejados.

d. A (Action = Agir)

Fazer correções de rotas se for necessário, tomar ações corretivas ou de melhoria, caso tenha sido constatada na fase anterior a necessidade de corrigir ou melhorar processos.

## **2.7 Fundamentos do Controle Estatístico de Processos**

### **2.7.1 Cartas de Controle**

O principal elemento do CEP é a carta de controle de processo, que permite identificar o comportamento do processo ao longo do tempo e detectar a incidência de causas especiais, permitindo delinear ações que previnam e bloqueiem sua reincidência. O CEP possibilita um controle eficaz da qualidade, feito pelo próprio operador e em tempo real. Desta forma, promove-se um aumento do comprometimento do operador com a qualidade do que está sendo produzido pelo processo por ele controlado. Atividades de supervisão são, assim, reduzidas, permitindo à gerência centralizar seus esforços em ações que visem a melhoria dos processos (Pires, 2000, p.11 ).

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

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

As cartas de controle permitem o monitoramento de variáveis (características de qualidade expressa em valores contínuos) ou atributos (características de qualidade expressas como presença ou ausência do atributo) que determinam o desempenho do processo. O objetivo das cartas de controle é possibilitar uma avaliação da estabilidade do processo e identificação de causas especiais de variação; em outras palavras, o CEP prevê subsídios à tomada de decisões gerenciais relacionadas à eliminação de causas especiais. Além disso, a utilização de cartas de controle de processo apresenta vantagens como (i) prevenir a incidência de defeitos, (ii) evitar ajustes desnecessários no processo, (iii) proporcionar aumentos de produtividade e (iv) fornecer um diagnóstico da situação atual dos processos (Pires, 2000, p.12 ).

Cartas de controle utilizam como dados de entrada medições realizadas de uma característica de qualidade ou parâmetro de processo que influencie na qualidade dos produtos manufaturados. As medições são realizadas em pontos espaçados de tempo e registradas graficamente nas cartas, sendo então comparadas contra limites de controle. A utilização de informações oriundas das cartas de controle na tomada de decisão sobre ações de melhoria é evidenciada na Figura 2.

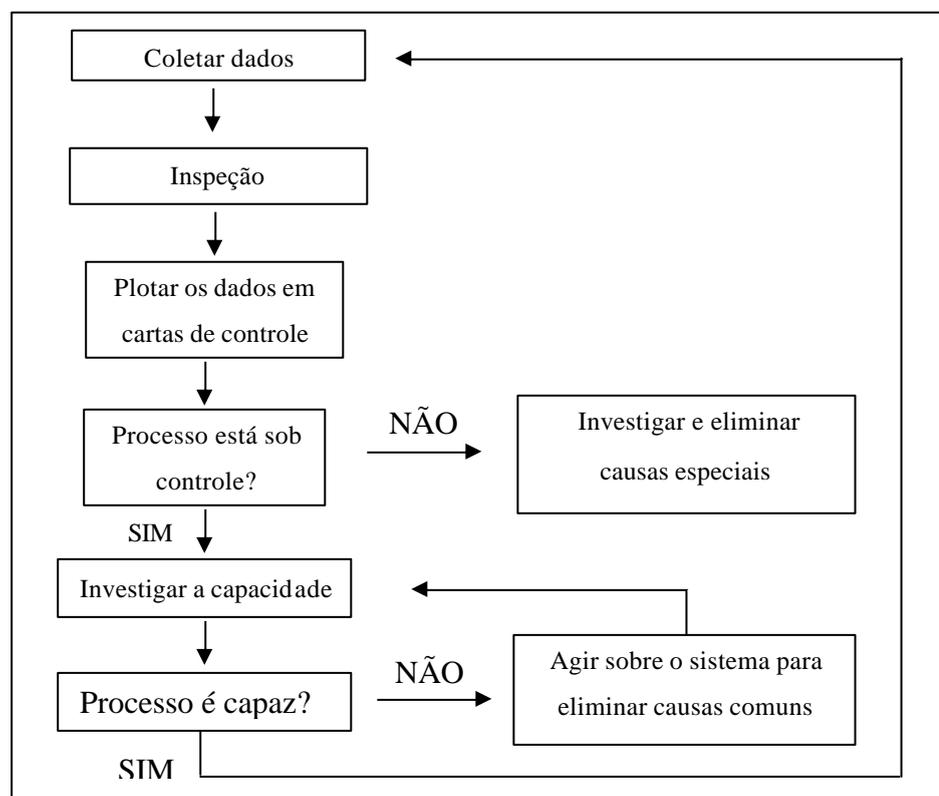


Figura 2. Estratégia para melhoria contínua no controle estatístico de processos

### 2.7.2 Variação: Causas Comuns e Especiais

Dois produtos ou características nunca são exatamente iguais, porque qualquer processo contém muitas fontes de variabilidade. As diferenças entre produtos podem ser grandes, ou elas podem ser imensamente pequenas, mas elas estão sempre presentes. O diâmetro de um eixo usinado, por exemplo, seria suscetível a variação potencial da máquina (folga, desgaste do rolamento), da ferramenta (esforço, taxa de desgaste), do material (diâmetro, dureza), do operador (precisão em centralizar, alimentação da peça), da manutenção (lubrificação, reposição de peças gastas) e do meio ambiente (temperatura, constância do fornecimento elétrico) (Chrysler Corporation, *et all*, Fundamentos do Controle Estatístico do Processo (CEP), Manual de Referência, 1992, p. 9).

Segundo o Manual de Referência citado acima, algumas fontes de variação no processo causam a curto prazo, diferenças peça-a-peça, por exemplo, folgas e falhas em uma máquina e em sua fixação. Outras fontes de variação tendem a causar mudanças no resultado somente após um longo período de tempo, ou gradualmente, no caso de desgaste de ferramentas ou máquinas, ou bruscamente, como mudanças no procedimento, ou irregularmente, como mudança no ambiente do tipo fornecimento de energia elétrica. Portanto, o intervalo de tempo e as condições sobre as quais as medidas são feitas afetarão a quantidade total de variação que estará presente.

Para gerenciar qualquer processo e reduzir sua variação, a mesma deve ser rastreada de volta, até suas fontes. O primeiro passo é fazer a distinção entre causas comuns e especiais de variação. Enquanto valores tomados individualmente podem ser todos distintos, como um grupo eles tendem a formar um padrão que podem ser descritos como uma distribuição.

Causas comuns referem-se às muitas fontes de variação dentro de um processo, que possuem uma distribuição estável e repetitiva ao longo do tempo. Isto é chamado “sob estado de Controle Estatístico”, “sob Controle Estatístico” ou somente “sob Controle”. Causas comuns funcionam como um sistema estável de causas prováveis. Se somente causas comuns de variação estão presentes e não se alteram, o resultado do processo se torna previsível (Chrysler Corporation, *et all*, Fundamentos do Controle Estatístico do Processo (CEP), Manual de Referência, 1992, p. 10).

Causas especiais (frequentemente chamadas de assinaláveis), são definidas como quaisquer fatores causadores de variação que não estejam sempre atuando no processo. Isto é, quando elas ocorrem, elas fazem a distribuição (global) do processo mudar. A menos que todas as causas especiais sejam identificadas e tomadas as devidas providências, elas continuarão a afetar o resultado do processo de maneira imprevisível. Se causas especiais estão presentes, o resultado do processo não é estável ao longo do tempo.

### 2.7.3 Capabilidade do Processo

A avaliação da capabilidade do processo se inicia após os problemas terem sido resolvidos (causas especiais identificadas, analisadas, corrigidas e prevenidas quanto à reocorrência), e as cartas de controle continuamente refletirem um processo que se encontre sob controle estatístico, preferencialmente para 25 ou mais subgrupos. Em geral, distribuição do resultado do processo é comparada com as especificações de engenharia, para ver se estas especificações podem ser consistentemente atendidas (Chrysler Corporation, *et all*, Fundamentos do Controle Estatístico do Processo (CEP), Manual de Referência, 1992, p. 57).

Segundo o manual de referência citado acima, existem muitas técnicas para avaliar a capabilidade de um processo que está sob controle estatístico. Algumas assumem que o resultado do processo segue uma distribuição normal em forma de sino. Caso não se saiba se a distribuição é normal, um teste para normalidade deveria ser feito tal como a análise de um histograma, marcação em um papel de probabilidade normal, ou usando métodos mais precisos. Se houver suspeita ou confirmação de não-normalidade, técnicas mais flexíveis deveriam ser usadas, tais como a transformação de dados para “normalizar” a distribuição, ajuste computadorizado de curva ou análise gráfica.

O resultado de um processo de manufatura estatisticamente estável (sob controle) pode ser descrito por sua distribuição. Características de sua distribuição são utilizadas para avaliar o processo. Por exemplo, uma característica de interesse frequente é o centro da distribuição. Se a distribuição não estiver localizada apropriadamente, o processo de manufatura pode produzir peças que não estejam perto o suficiente do valor alvo desejado. Em tais casos, algumas peças podem estar fora da especificação. Um processo com tal distribuição pode, então, ser avaliado como incapaz em atender às necessidades do cliente. Problemas similares

podem ocorrer se a distribuição tiver muita dispersão, independente de onde a distribuição estiver localizada (Chrysler Corporation, *et all*, Fundamentos do Controle Estatístico do Processo (CEP), Manual de Referência, 1992, p. 79).

#### 2.7.4 Definição de Medidas do Processo (Cp e Cpk)

**Cp:** este é o índice de capacidade, definido como o intervalo da tolerância dividido pela capacidade do processo, independentemente da centralização do processo. Este índice será calculado e melhor detalhado no estudo de caso.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6s} \quad (1)$$

**Cpk:** este é o índice de capacidade, que leva em conta a centralização do processo e é definido como o mínimo entre CPU e CPL. Ele relaciona a distância entre a média do processo e o limite de especificação mais próximo, com a metade da dispersão total do processo. Este índice será mais bem explicado no estudo de caso.

(Chrysler Corporation, Ford Motor Company e General Motors Corporation, Fundamentos do Controle Estatístico do Processo (CEP), Manual de Referência, 1992, p. 80).

$$C_{pk} = \text{MIN} \left[ \frac{LSE - m}{3s}; \frac{m - LIE}{3s} \right] \quad (2)$$

#### 2.8 Ferramentas da Qualidade

Oliveira (1994, p.2), relata que em 1968, Ishikawa, objetivando facilitar o estudo dos profissionais da qualidade, organizou um conjunto de ferramentas, de natureza gráfica e estatística, denominando-as “Sete Ferramentas do Controle da Qualidade”. Nos últimos anos, a elas foram incorporadas outras, já amplamente utilizadas nas mais diversas áreas do conhecimento, e que se mostraram eficientes quando aplicadas as questões relacionadas a qualidade.

Segundo Werkema (1995, p. 27), as Sete Ferramentas para o Controle da Qualidade, criadas

por Ishikawa são: Folha de verificação, Estratificação, Diagrama de dispersão, Gráfico de controle, Diagrama de Pareto, Histograma e Diagrama de causa e efeito.

O uso do CEP na indústria visando eficiência e produtividade, foi iniciado a partir do trabalho de W. E. Deming, estatístico norte americano que atuou junto às forças armadas dos E.U.A. durante a Segunda Guerra Mundial e que, no pós-guerra foi levado ao Japão pelo general MacArthur para auxiliar na reconstrução do parque industrial japonês. A estratégia de Deming foi a utilização da estatística para a tomada de decisões administrativas. Em 1950, Deming levou para o Japão J.M. Juran, criador do gráfico de Pareto, onde cerca de 80% dos problemas deve-se a 20 % das causas. A importância destes dois cientistas americanos para a evolução da filosofia da qualidade no Japão e no mundo, é comprovada pelos dois mais importantes prêmios da qualidade levarem seus nomes (Sashkin, 1994, p.58).

### 2.8.1 Coleta de Dados

Oliveira (1994, p.37), define que a coleta de dados corresponde à busca de evidências e fatos que sejam significativos e representativos da situação que se deseja estudar. Tem como objetivo representar com clareza e fidelidade o fenômeno em estudo fornecendo a base para toda ação de melhoria. *“O excesso de informação na coleta de dados traz desperdício de tempo e recursos”*. (Oliveira, 1994, p.37).

O autor afirma que para facilitar o trabalho do coletor e do analista, são utilizadas folhas de verificações, que cumprem uma função importante dentro do processo de coleta de dados. Através delas é possível reduzir a variabilidade dos dados, uniformizando os aspectos importantes da pesquisa, o conteúdo e formato das respostas. A folha de verificação é demonstrada na Figura 3.

**FOLHA DE VERIFICAÇÃO**

Pessoas Processos	João	Carlos	Maria	Júlia	$\Sigma$
A	0,2		1		1.2
B	C	0,8			0.8
C	0,7	0,2		0,2	1.1
D	0,1			0,8	0.9
$\Sigma$	1	1	1	1	

**Figura 3. Folha de verificação**

Werkema (1995, p.52), explica que outra ferramenta utilizada na coleta de dados é a estratificação. Esta corresponde à separação e/ou segregação de um conjunto de dados em conjuntos menores fortemente relacionados. A estratificação tem como objetivo agrupar dados que compartilham afinidades de forma a obter uma melhor compreensão da situação. A autora afirma que uma coleta de dados estratificada de maneira inadequada pode conduzir à construção de um quadro distorcido da situação real, gerando interpretações inadequadas e disparando ações incoerentes.

### 2.8.2 Diagrama de dispersão

Werkema (1995, p. 161) define o diagrama de dispersão como uma técnica de análise para a verificação da influência de uma determinada variável em outra, quando ambas são mensuráveis, estudando a possibilidade de relação entre duas variáveis ou relação de causa e efeito. Não se pode afirmar que uma variável influencia a outra, mas é possível estabelecer se uma relação existe e em que intensidade. O diagrama é construído de forma que o eixo horizontal representa os valores medidos de uma variável e o eixo vertical represente os valores da outra variável. Suas principais vantagens são a de possibilitar a confirmação da causa de um determinado efeito e confirmar algum eventual efeito colateral. O gráfico de dispersão pode ser visualizado na Figura 4.

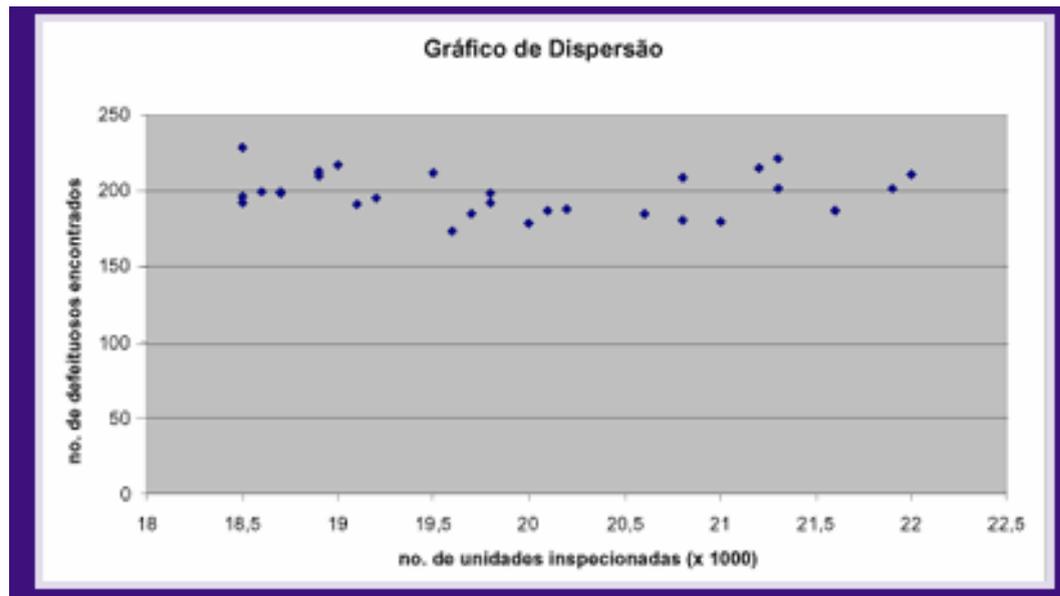


Figura 4. Diagrama de dispersão

### 2.8.3 Gráfico de controle

Werkema (1995, p. 181) explica que o gráfico de controle é um gráfico de acompanhamento, em que se compara periodicamente o indicador de uma determinada característica com os respectivos limites de controle (faixa de variação natural desta característica). É a principal ferramenta do Controle Estatístico do Processo.

Segundo a autora, esta é uma ferramenta avançada de análise estatística, mas nem por isso complexa, o gráfico de controle monitora o grau de variabilidade de uma atividade, auxiliando na identificação de tendências que indicam se a mesma está sob controle ou não. Através do cálculo de três parâmetros LC (Linha Central de Controle), LSC (Limite Superior de Controle) e LIC (Limite Inferior de Controle) é definido um gráfico de controle de modo a viabilizar o monitoramento contínuo de uma atividade ao longo do tempo. A Figura 5 apresenta o aspecto básico de um gráfico de controle.

Seu principal objetivo é obter um sinal que permita visualizar a ocorrência de uma causa especial de variação, o que significa a existência de um descontrole no processo, conseqüentemente, um aumento na probabilidade da ocorrência de não-conformidade.

Suas principais vantagens são a de permitir tomadas de ações preventivas e preditivas e tornar o processo previsível.

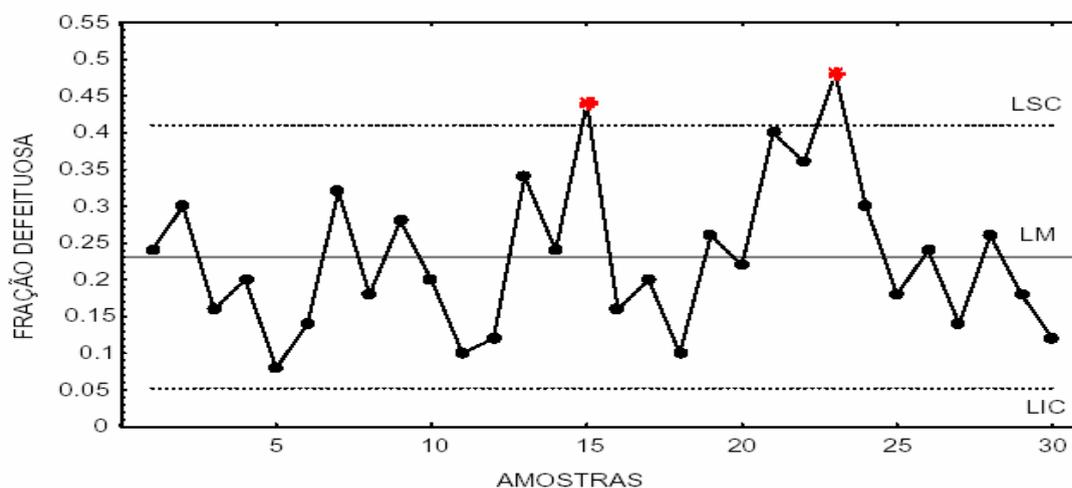


Figura 5. Gráfico de Controle

#### 2.8.4 Diagrama de Pareto

De acordo com Oliveira (1994, p. 63), hoje em dia, conta-se que as bases do Gráfico de Pareto se aplicam em várias áreas do conhecimento (biologia, controle de estoque, etc.). Em particular, no campo da Gestão da Qualidade, têm-se mostrado uma ferramenta importante na priorização de ações, minimizando custos operacionais e evitando fracassos. Desta forma, é possível atacar os problemas, de forma eficiente, priorizando as causas que mostram-se responsável pela maior parte das perdas. Segundo o autor o Gráfico é usado para mostrar por ordem de importância, a contribuição de cada item para o efeito total. Para classificar oportunidades para a melhoria. É uma técnica gráfica simples para a classificação de itens desde os mais até os menos frequentes. Ele é baseado no Princípio de Pareto, que declara que muitas vezes apenas alguns itens são responsáveis pela maior parte dos efeitos. É um gráfico de barras verticais que associa dados variáveis com dados na forma de atributos permitindo determinar quais problemas ou assuntos resolver e qual a sua ordem de prioridade. Os dados utilizados foram reportados numa Lista de Verificação ou em uma outra fonte de coleta de dados, concentra a nossa atenção e esforços para problemas ou assuntos verdadeiramente importantes (separa o importante do trivial). Na maioria das vezes, teremos melhores resultados se atuarmos nos dados da barra mais alta do gráfico do que nos embarçarmos nas barras menores. Na Figura 6 é mostrado o Gráfico de Pareto.

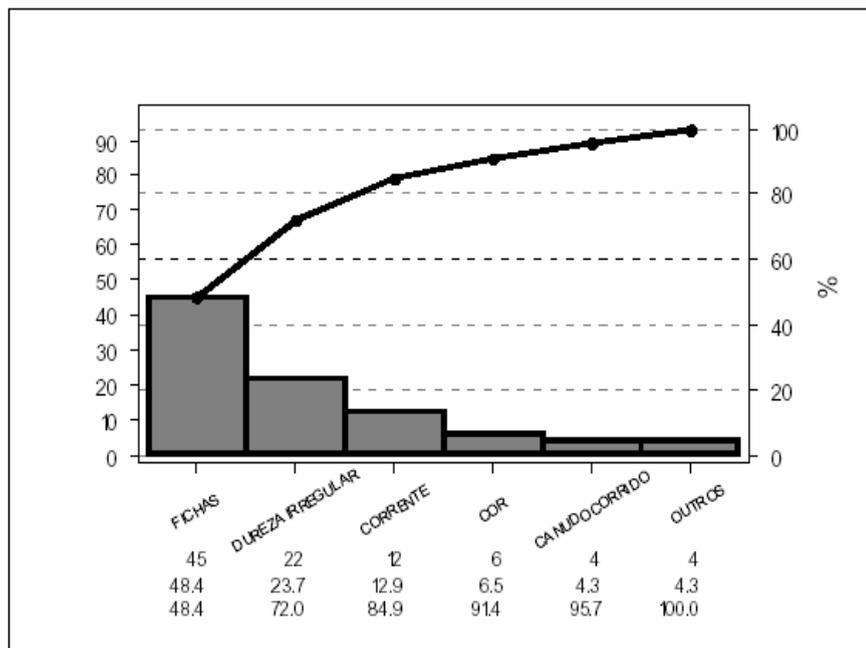
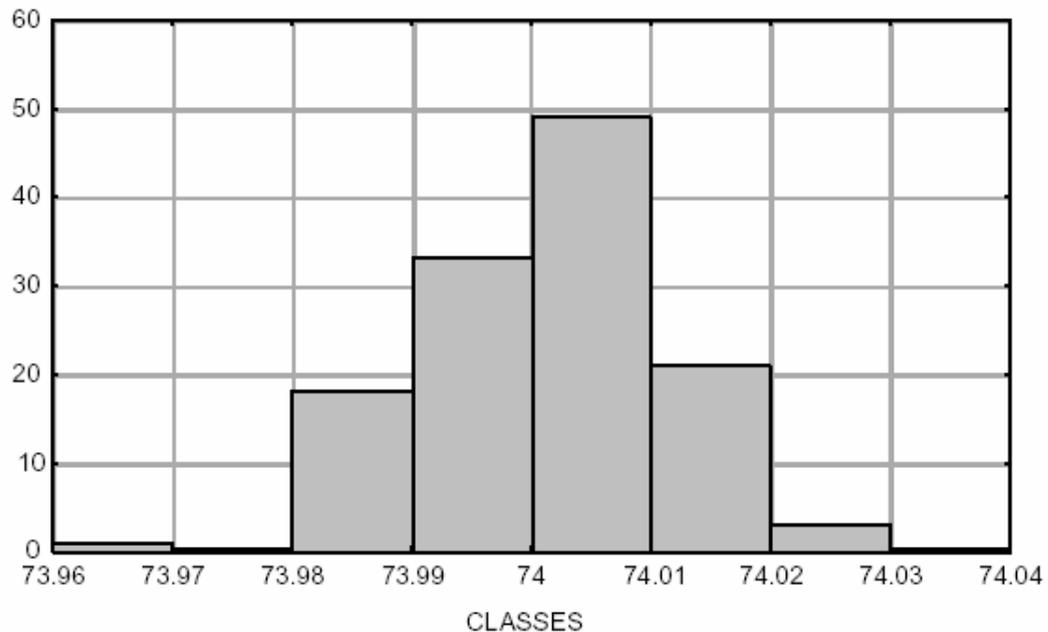


Figura 6. Gráfico de Pareto

### 2.8.5 Histogramas

Os histogramas permitem a visualização, sob a forma de um gráfico de barras, a frequência com que certos eventos ocorrem (distribuição de frequências), além de inferir o quanto de variação existe no processo avaliado (Oliveira, 1994, p. 71).

Segundo Werkema (1994, p. 111), um histograma pode ser definido como um gráfico de barras que associa os valores de uma característica de qualidade, divididos em pequenos intervalos, com a frequência com que ocorrem na amostra. Seu objetivo principal é resumir um grande conjunto de dados, ressaltando-se suas características, como faixa de valores observados, dispersão e padrão de variação, permitindo rápida compreensão dos resultados. Um histograma pode ser visualizado na Figura 7.



**Figura 7. Histograma**

A autora ressalta que um histograma típico deve apresentar distribuição do tipo normal, na qual a maioria dos dados concentra-se em torno da medida central e um número semelhante de medidas situa-se de cada lado deste ponto. Outras configurações de um histograma podem representar a mistura de dados ou um controle desigual dos limites, resultando em histogramas dos tipos: assimétrico e com apenas um pico, assimétrico com queda acentuada em um de seus lados, assimétrico com dois picos, platô ou achatado e pico isolado.

### **2.8.6 Diagrama de causa e efeito**

Segundo Oliveira (1994, p. 95), outra ferramenta básica de análise de processo, visa ilustrar esquematicamente (Figura 8) a relação entre as causas potenciais e o efeito (problema) existente em um serviço. Esta ferramenta também é conhecida como Diagrama de Espinha de Peixe, por seu formato, ou como Diagrama de Ishikawa, homenagem a Kaoru Ishikawa, um dos grandes pensadores da qualidade total no século XX.

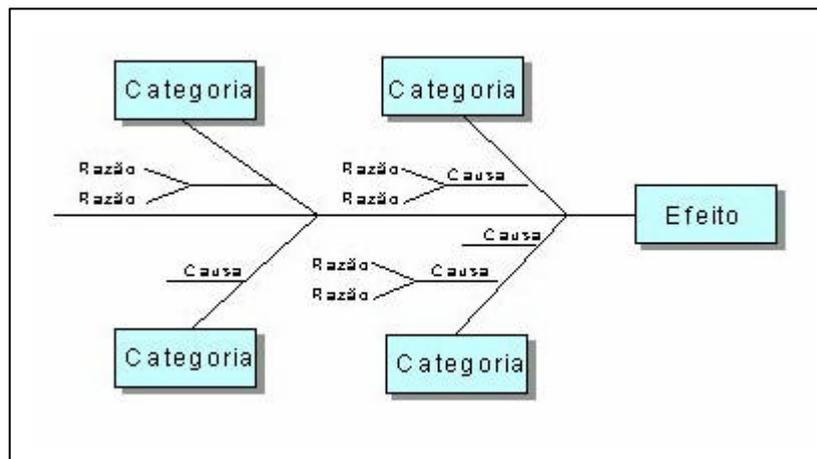


Figura 8. Diagrama de causa e efeito

Conforme dito, as causas potenciais são levantadas em sessões de *brainstorming*. Normalmente quando é analisado o ciclo de atividades da distribuição física, são percorridos quatro grupos principais de causas: mão de obra, métodos, materiais, máquinas, medições e meio ambiente.

Uma vez levantadas as causas potenciais para a deficiência no serviço, os tempos de execução e atendimento em cada uma destas atividades devem ser mensurados e quantificados. Com isto, é possível validar as causas levantadas, mensurando sua variabilidade e caracterizando se o atendimento ao cliente está sob controle ou não.

Depois de compreendida a bibliografia do tema deste trabalho, o próximo capítulo trata da aplicação prática do Controle Estatístico de Processos. Esta aplicação leva a definição das operações críticas a serem controladas, os métodos utilizados e os resultados encontrados. Para a realização deste trabalho foram deixadas de lado qualquer opinião própria ou que possa ser interpretada sem base científica.

## 3 APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS

### 3.1 Escolha do Produto

A etapa inicial deste estudo de caso é a definição de qual produto será controlado através do Controle Estatístico de Processos. O produto escolhido é um ferro fundido de código interno ML0003 – CUBO (Figura 9). Este produto pertence à linha de colheitadeiras New Holland. Foi escolhido este produto para análise devido a seu alto faturamento e por este ser um produto na qual a empresa já recebeu reclamações em relação a seu processo de fabricação.

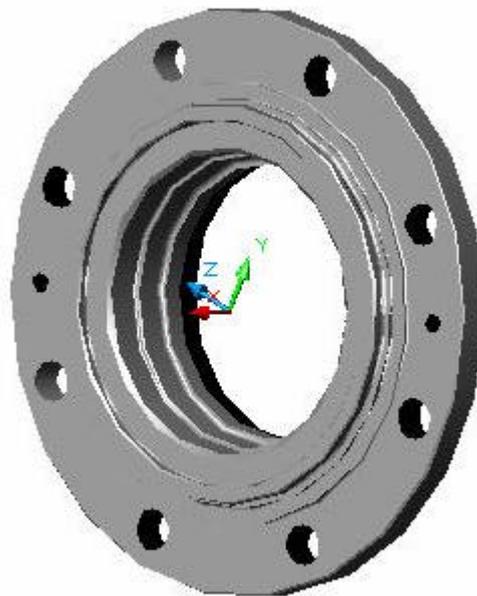


Figura 9. ML0003 – CUBO

Definido qual o produto a ser estudado, a aplicação do CEP neste produto, tem como etapa seguinte o reconhecimento de todo seu processo de fabricação para posteriormente realizar a identificação de quais operações são consideradas críticas e exigem o controle através do CEP.

### 3.2 Fluxograma de Operações

O processo de fabricação deste produto a ser analisado é ilustrado pela Figura 10. As operações do produto ML0003 - CUBO podem ser visualizadas pela Figura 11.

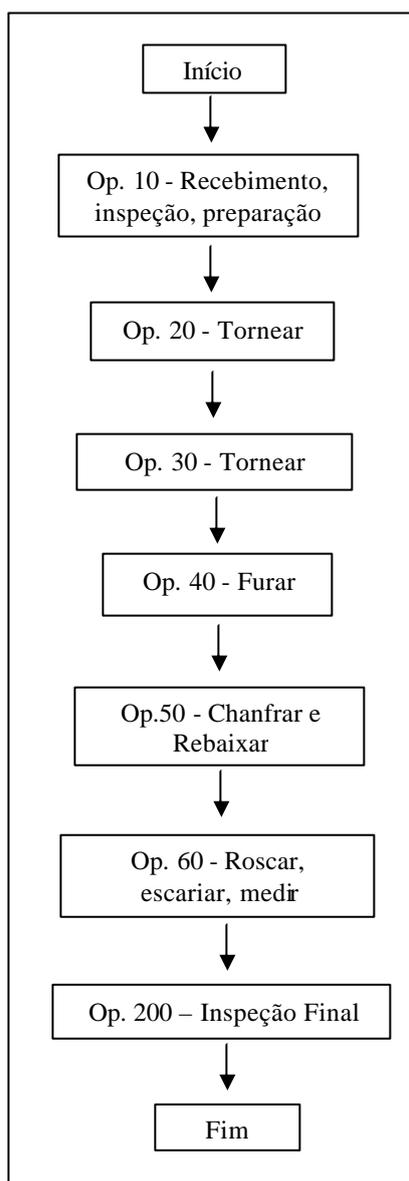
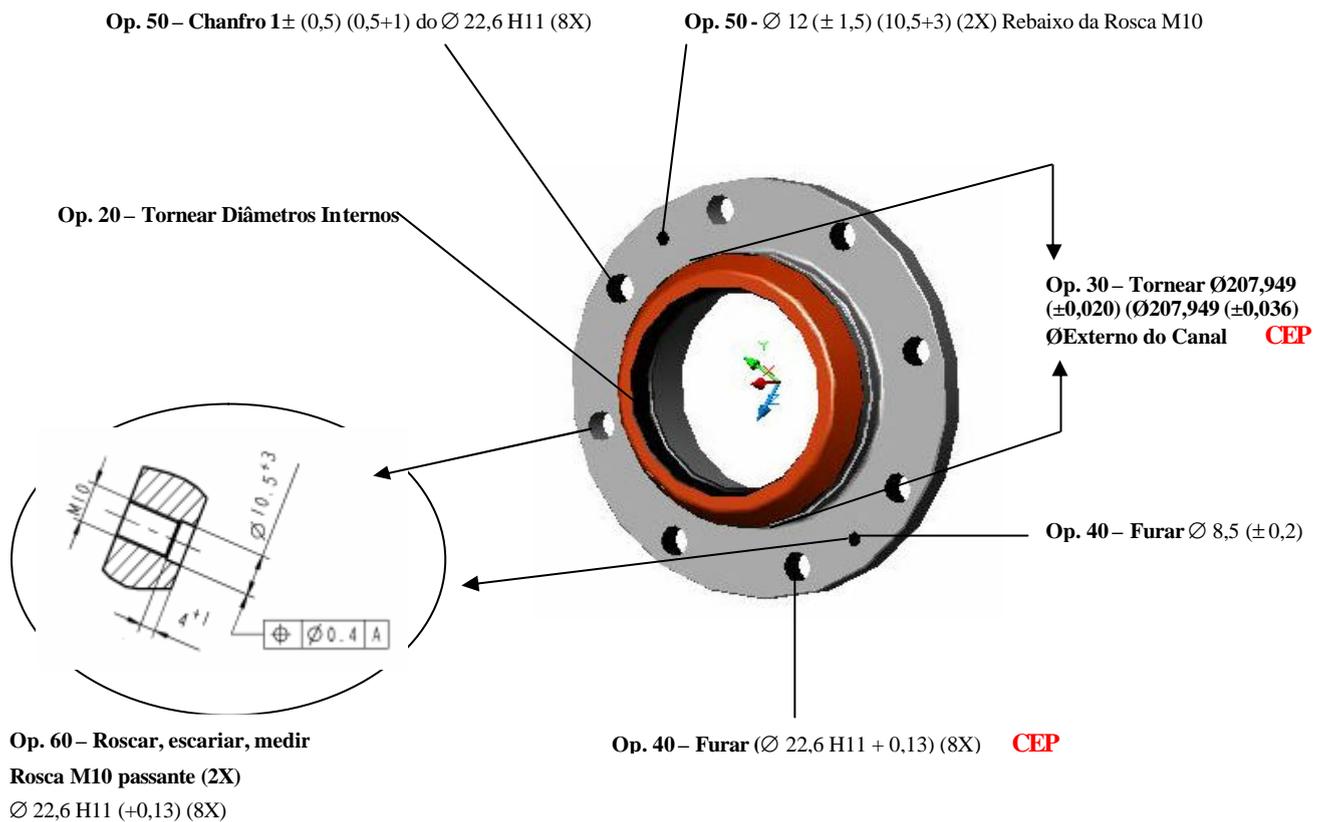


Figura 10. Fluxograma de operações



**Figura 11. Ilustração das operações**

O processo deve ser entendido em termos de suas relações com outras operações e usuários tanto fluxo acima quanto fluxo abaixo, e em termos dos elementos dos processos (pessoas, equipamento, materiais métodos, e ambiente) que o afeta em cada estágio. Técnicas como o diagrama de fluxo de processo ajudam a tornar estas relações mais visíveis e permitem a associação da experiência das pessoas que entendem diferentes aspectos do processo.

### 3.3 Identificação das Operações Críticas

As operações críticas do processo podem ser identificadas de várias formas, como reuniões em grupo, consultas com pessoas que desenvolvem ou operam o processo, (“especialistas no assunto”) análise crítica da história do processo ou a elaboração de um FMEA.

FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), que em português significa Análise dos Efeitos e Modos de Falhas, pode ser definido como a análise de falhas do nível inferior e quais suas conseqüências no nível superior. Este conjunto de atividades tem o intuito de: identificar e avaliar as falhas potenciais do produto/processo e os efeitos destas falhas, identificar ações que poderiam eliminar ou reduzir a chance da falha potencial ocorrer, documentar o processo.

Trata-se de um complemento ao processo de definir o que um produto ou processo deve fazer para satisfazer o cliente (função).

Um estudo de FMEA pode avaliar:

- 1) “Modo de Falha Potencial e seu respectivo Efeito Potencial de Falha” e a este ser atribuída uma nota de acordo com sua importância;
- 2) “Causa / Mecanismo e sua respectiva Prevenção” atribuindo-se uma nota de acordo com sua ocorrência;
- 3) “Controle Atual do Processo e sua Detecção”, sendo a este também atribuída uma nota.

O produto das notas dos itens 1, 2 e 3 podem acusar a necessidade ou não de um controle através do CEP.

Neste estudo de caso em particular as operações críticas do produto foram identificadas pelas pessoas que desenvolveram e operam o processo e de acordo com as exigências dos clientes.

As operações que foram consideradas como críticas por estas pessoas, foram as mesmas exigidas com alta precisão de resultados pelos clientes. Foram consideradas como operações de caráter crítico as operações 30 e 40.

### 3.4 Planos de Controle

Os Planos de Controle são planilhas que acompanham os lotes dos produtos, estas podem variar de acordo com a política de cada empresa, mas em geral estas visam identificar como e qual característica deve ser operacionalmente controlada. Para cada operação é necessário um Plano de Controle. Este traz informações tais como:

- Código e descrição do produto;
- Código do desenho do produto;
- Número da operação;
- Máquina utilizada na operação;
- Característica a ser controlada;
- Caráter crítico (sim ou não);
- Frequência de medição (podem variar de 100%, uma a cada 2 peças, uma a cada 3 peças, até uma peça por turno, de acordo com seu caráter crítico).

- Método de controle (se o caráter for considerado crítico, seu método de controle será o CEP; para caráter considerado como não crítico, seu método de controle pode ser por amostragem, inspeção ou visual).

### 3.4.1 Aplicação dos Planos de Controle

Considerada como crítica a operação 30 (Tornear), as informações levadas até os operários, através do Plano de Controle, podem ser visualizadas pela Figura 12.

Plano de Controle do Processo ML0003				
	Código M. Lamon ML0003	Descrição Cubo	Máquina GU 1000	Código Desenho NH 0003
Operação: 30 - Tornear				
Características para controlar	Caráter Crítico	Meio de Controle	Medição	Método de Controle
Ø158,645 (±0,02) (Ø158,75 S7 -0,085/-0,125) Ø do rolamento Frontal		Súbito	100%	Inspeção
		Relógio Comparador		
		Anel Padrão		
Ø158,645 (±0,02) (Ø158,75 S7 -0,085/-0,125) Ø do rolamento Reverso		Súbito	100%	Inspeção
		Relógio Comparador		
		Anel Padrão		
Ø165,031 (±0,031) (Ø165 H8 +0,063/0)		Súbito	1/2Pçs	Inspeção
		Relógio Comparador		
		Anel Padrão		
Ø207,949 (±0,020) (Ø207,949 (±0,036) ØExterno do Canal	sim	Calibrador de Boca	100%	CEP
		Relógio Comparador		
		Padrão		

Figura 12. Plano de Controle para Operação 30

O Plano de Controle para a operação 30 trás como característica crítica, que deve ser controlada através do CEP, o Diâmetro Externo do Canal de 207,949 com tolerância de  $\pm 0,036$ . Para esta característica as exigências dos clientes são as seguintes:

Medida Tolerada: 208g8

Afastamentos: -0,015 e -0,087

Limite Máximo: 207,985

Limite Mínimo: 207,913

Para esta característica ser efetivamente controlada o processo restringe esta tolerância para  $\pm 0,020$ .

Esta característica deve ser rigorosamente controlada, pois a este diâmetro externo encaixa-se um retentor. Se a medida a ser controlada sair fora dos limites de controle, os problemas podem ser dois:

- Para medida maior que o limite máximo: não é possível a montagem e pode danificar o retentor.
- Para medida menor que o limite mínimo: diminuição da vida útil do produto.

O Plano de Controle para a operação 40 (Furar), também considerada como crítica, pode ser visualizado pela figura abaixo (Figura 13).

 <b>Plano de Controle do Processo ML0003</b>				
Código M. Lamon	Descrição	Máquina	Código Desenho	
ML0003	Cubo	Fur Múltipla	NH 0003	
<b>Operação: 40 - Furar</b>				
Características para controlar	Caráter Crítico	Meio de Controle	Medição	Método de Controle
$\varnothing 22,6 (+0,13/0)$ ( $\varnothing 22,6H11 +0,13/0$ ) (8x) Furos Passante da Aba	sim	Súbito	100%	CEP
		Relógio Comparador		
		Anel Padrão		
$\varnothing 8,5 (\pm 0,2)$ (2x) Furos Passante da Rosca M10		Paquímetro	1/10 pç	Inspeção

**Figura 13. Plano de Controle para a Operação 40**

O Plano de Controle da Operação 40 acusa como crítica a característica do Diâmetro Interno dos oito maiores furos passantes da aba. Estes furos devem ter Diâmetro Interno igual a 22,6 (+0,13). As especificações dos clientes são:

Medida Tolerada: 22,6 H11

Afastamentos: +0,130 e -0,000

Limite Máximo: 22,730

Limite Mínimo: 22,600

O Diâmetro interno destes oito furos devem ser controlados através do CEP, para que as medidas mantenham-se dentro dos Limites Máximo e Mínimo. Se estas medidas se encontrarem fora dos Limites de Controle, os problemas que virão a ocorrer podem ser:

- Para medida maior que o limite máximo: não dá aperto, pino folgado.
- Para medida menor que o limite mínimo: quebra do Cubo.

### 3.5 Aplicação das Cartas de Controle

O uso das Cartas de Controle é um procedimento interativo, em que se repetem as fases fundamentais de coleta, controle e análise. Primeiro os dados foram coletados; então, estes dados foram usados para calcular os limites de controle, que são a base para a interpretação do controle estatístico; quando o processo está sob controle estatístico, pode-se avaliar a capacidade do processo. Foi utilizado o par de cartas  $\bar{X}$  e R.  $\bar{X}$  é a média dos valores em pequenos subgrupos – uma medida de localização; R é a amplitude dos valores dentro de cada subgrupo (o maior menos o menor) – uma medida de dispersão. A carta de controle para a média, utilizada para a coleta de dados pode ser visualizada pela Figura 14.

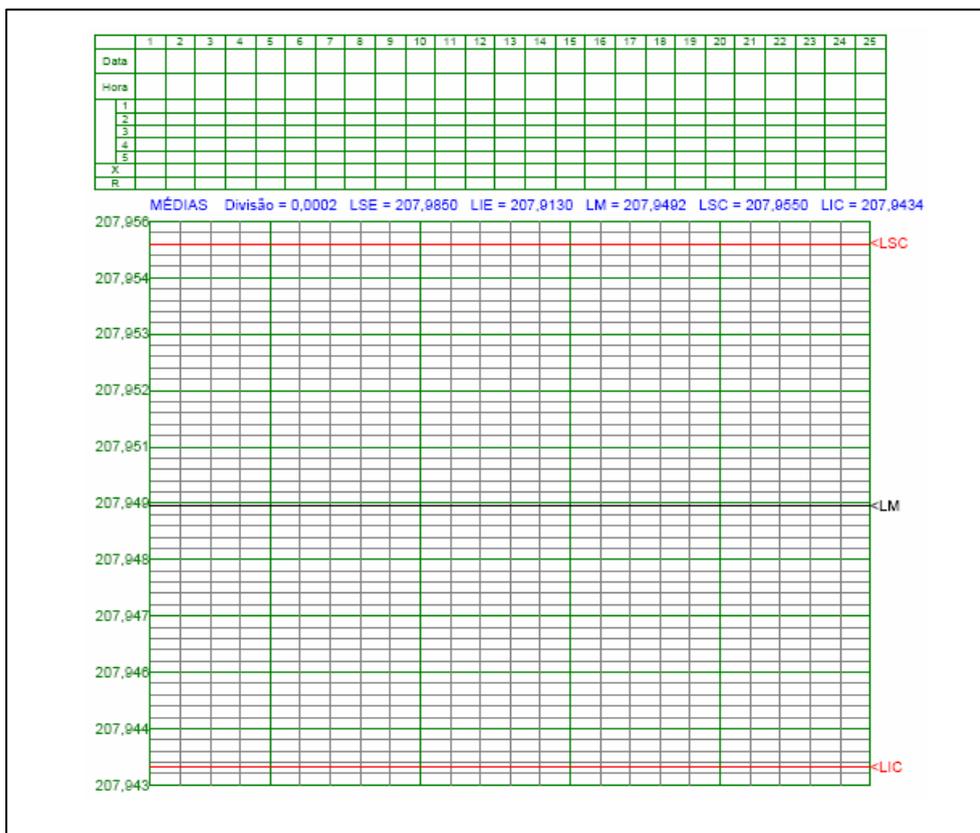


Figura 14. carta de controle para a média

Os valores para amplitude R também foram registradas em uma carta de controle. O modelo da carta de amplitude R pode se visualizado pela Figura 15.

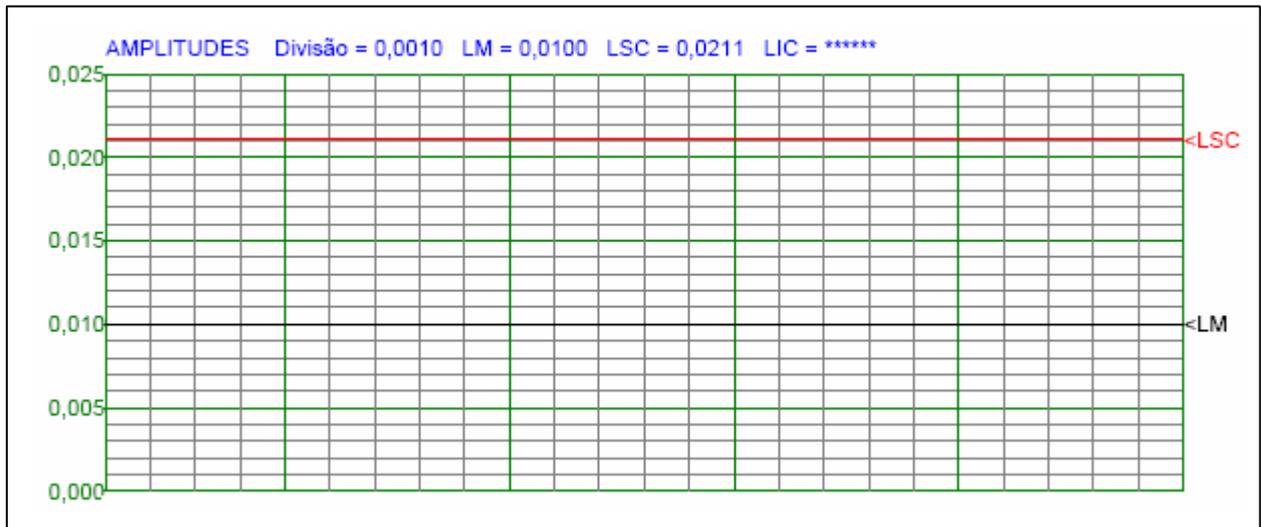


Figura 15. Carta de Controle para a Amplitude

## 4 APLICAÇÃO DO CEP PARA OPERAÇÃO 30

### 4.1 Identificação da Amostra

Máquina: Torno CNC (GU1000)

Frequência: 100%

Instrumento de Medida: Calibrador de boca

Característica: 207,949 ( $\pm 0,036$ )

Unidade: mm

Número de Amostras: 10            LSE: 207,985

Tamanho da Amostra: 5            LIE: 207,913

### 4.2 Cálculo da Média ( $\bar{X}$ ) e Amplitude (R)

As características registradas na carta foram as medidas da amostra ( $\bar{X}$ ) e a amplitude (R) para cada subgrupo; coletivamente, estes refletem a média global do processo e sua variabilidade, respectivamente.

Para cada subgrupo foram calculadas as médias e amplitudes através das equações 3 e 4 respectivamente.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (3)$$

$$R = X_{\text{maior}} - X_{\text{menor}} \quad (4)$$

Onde  $X_1, X_2, \dots$  são os valores individuais dentro do subgrupo e  $n$  é o tamanho da amostra do subgrupo.

### 4.3 Cálculo da Amplitude Média ( $\bar{R}$ ) e Média do Processo ( $\bar{\bar{X}}$ )

A Amplitude Média ( $\bar{R}$ ) foi calculada pela Equação 5 abaixo.

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k} \quad (5)$$

onde  $k$  é o número de subgrupos,  $R_1$  é a amplitude média do primeiro subgrupo e  $R_2$  a do segundo, etc.

A Média do Processo ( $\bar{X}$ ) é calculada da seguinte forma:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_k}{k} \quad (6)$$

onde  $k$  é o número de subgrupos,  $X_1$  a média do primeiro subgrupo e  $X_2$  é a média do segundo, etc.

#### 4.4 Cálculo dos Limites de Controle

Os Limites de Controle foram calculados para mostrar se a extensão na qual as médias e amplitudes dos subgrupos variaram e se apenas causas comuns de variação estão presentes. Foram baseados no tamanho da amostra do subgrupo e na quantidade da variabilidade dentro dos subgrupos refletidos na amplitude. Os limites superior e inferior de controle para amplitude e média, foram calculados pelas equações abaixo.

Para Amplitude:

$$LSC = D_4 * \bar{R} \quad (7)$$

$$LIC = D_3 * \bar{R} \quad (8)$$

Para Média:

$$LSC = \bar{X} + A_2 * \bar{R} \quad (9)$$

$$LIC = \bar{X} - A_2 * \bar{R} \quad (10)$$

Onde  $D_4$ ,  $D_3$  e  $A_2$  são constantes que variam com o tamanho da amostra, com valores de 2 a 10, e  $n$  representa os subgrupos, como mostrado na Tabela 1, seguinte:

Tabela 1. Constantes para o cálculo dos Limites de Controle

<i>n</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>D<sub>4</sub></b>	3,27	2,57	2,28	2,11	2,00	1,92	1,86	1,82	1,78
<b>D<sub>3</sub></b>	-	-	-	-	-	0,08	0,14	0,18	0,22
<b>A<sub>2</sub></b>	1,88	1,02	0,73	0,58	0,48	0,42	0,37	0,34	0,31

\* (Para tamanhos de amostra inferiores a 7, o LIC para a amplitude será tecnicamente um número negativo; nestes casos não há limite inferior de controle; isto significa que para um subgrupo de tamanho 6, seis medidas idênticas não seriam improváveis). (Chrysler Corporation, *et all*, Fundamentos do Controle Estatístico do Processo (CEP), Manual de Referência, 1992, p. 37).

#### 4.5 Valores

Os valores coletados pelas Cartas de Controle e o valor das médias e amplitudes referentes a cada subgrupo é ilustrado na Tabela 2.

Tabela 2. Valores (Operação 30)

	Subgrupos									
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
<b>X<sub>1</sub></b>	207,955	207,949	207,949	207,953	207,947	207,951	207,953	207,945	207,953	207,943
<b>X<sub>2</sub></b>	207,951	207,947	207,945	207,957	207,951	207,951	207,951	207,951	207,955	207,949
<b>X<sub>3</sub></b>	207,943	207,953	207,949	207,947	207,955	207,945	207,947	207,951	207,951	207,947
<b>X<sub>4</sub></b>	207,945	207,955	207,946	207,943	207,957	207,941	207,945	207,949	207,947	207,949
<b>X<sub>5</sub></b>	207,941	207,951	207,955	207,949	207,957	207,947	207,941	207,953	207,947	207,949
<b><math>\bar{X}</math></b>	207,947	207,951	207,949	207,950	207,953	207,947	207,947	207,950	207,951	207,947
<b>R</b>	0,014	0,008	0,010	0,014	0,010	0,010	0,012	0,008	0,008	0,006

#### 4.5.1 Limites de Controle

A amplitude média foi calculada pela Equação 5 e a média do processo através da Equação 6.

$$\bar{\bar{X}} = 207,9492 \qquad \bar{R} = 0,0100$$

Para a média do processo ( $\bar{X}$ ) os limites de controle superior e inferior foram calculados através das Equações 9 e 10 respectivamente.

$$\text{LSC: } 207,9550 \qquad \text{LIC: } 207,9434$$

O limite superior de controle para a amplitude média ( $\bar{R}$ ) foi calculado pela equação (7).

$$\text{LSC: } 0,0211 \qquad \text{LIC: } \text{-----}$$

#### 4.6 Gráficos

##### 4.6.1 Gráfico de Controle para $\bar{X}$

Calculados os valores dos limites superior e inferior de controle para  $\bar{X}$ , estes valores foram plotados em um gráfico a fim de facilitar a visualização do processo. A Figura 16 representa a distribuição dos valores de  $\bar{X}$  dentro dos limites de controle.

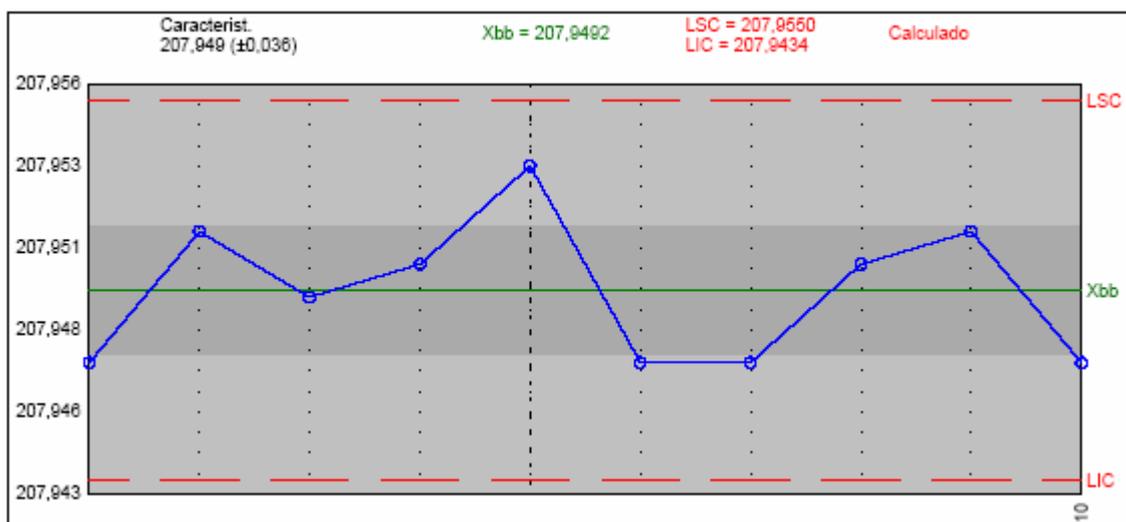


Figura 16. Gráfico de Controle para  $\bar{X}$

#### 4.6.2 Gráfico de Controle para $\bar{R}$

Calculado os limites superior e inferior de controle para  $\bar{R}$ , estes valores também foram plotados em gráfico para facilitar a visualização do processo. Lembrando que, para tamanhos de amostra inferiores a 7, o LIC para a amplitude resultará tecnicamente um número negativo (como explicado no item 4.4). Para este caso (tamanho da amostra igual a 5) não há limite inferior de controle. A Figura 17 representa o Gráfico de Controle para  $\bar{R}$ .

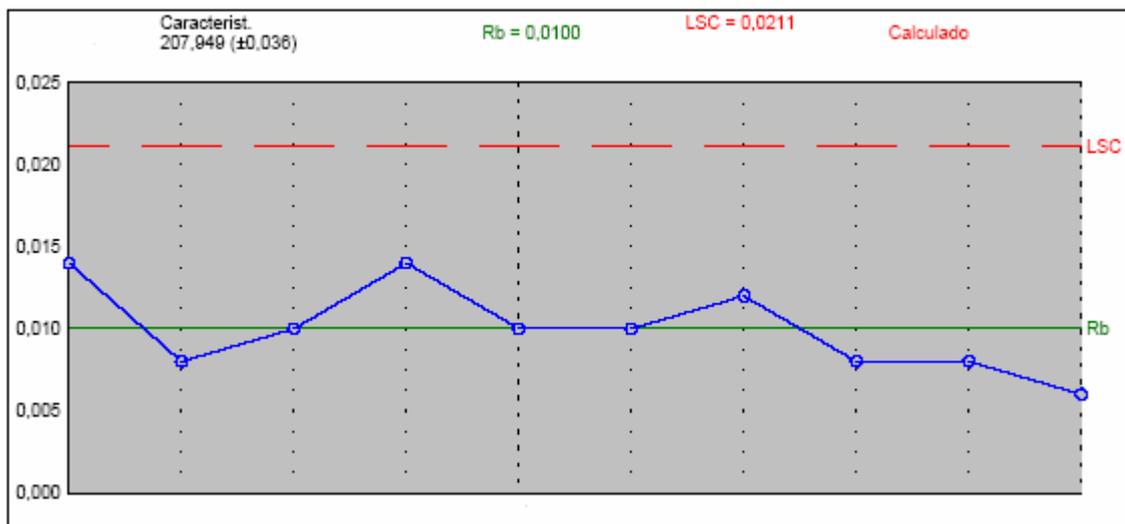


Figura 17. Gráfico de Controle para  $\bar{R}$

#### 4.6.3 Histograma

Calculada as Médias  $\bar{X}$ , um histograma foi criado para análise da distribuição e tendências do processo. Um histograma típico deve apresentar distribuição do tipo normal, na qual a maioria dos dados concentra-se em torno da medida central e um número semelhante de medidas situa-se de cada lado deste ponto. Através deste histograma é possível a análise de sua simetria e modelo. Este histograma pode ser visualizado pela figura abaixo (Figura 18).

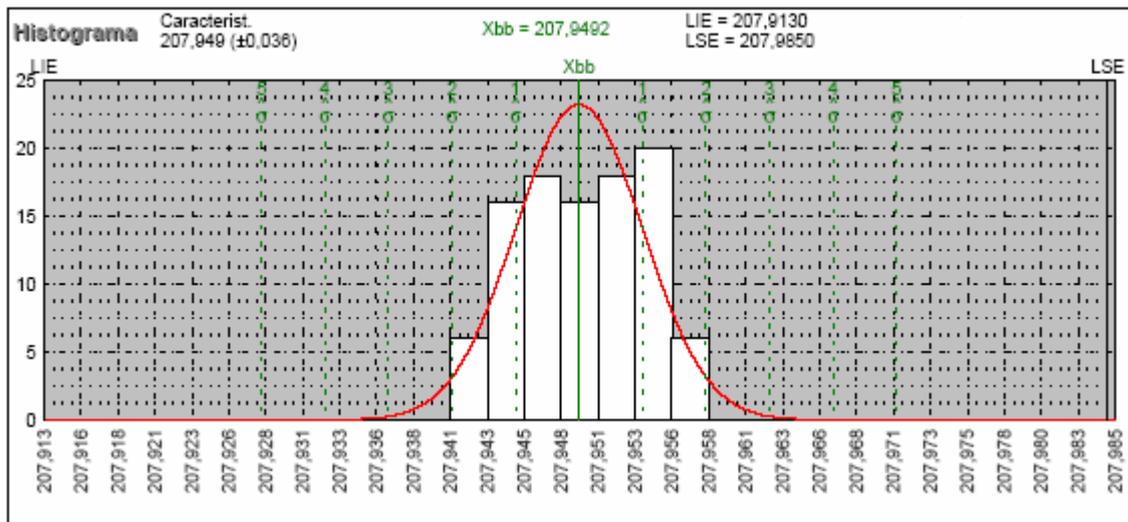


Figura 18. Histograma para a operação 30

## 4.7 Análise

### 4.7.1 Gráficos de Controle

Analisando os Gráficos de Controle para  $\bar{X}$  (Figura 16) e  $\bar{R}$  (Figura 17) encontramos:

Para  $\bar{X}$ : 0 amostras fora de controle

Para  $\bar{R}$ : 0 amostras fora de controle

Não há tendências de pontos consecutivos

### 4.7.2 Verificação da Normalidade da Distribuição

Analisando o Histograma referente às médias do processo ( $\bar{X}$ ) (Figura 18), o que encontramos é um histograma distribuído de forma simétrica, acusando um processo de modelo normal e aceitável.

## 4.8 Capacidade do Processo

Especificação de Engenharia:

Máximo: 207,9850

Mínimo: 207,9130

$$\bar{X} : 207,9492$$

Desvio Individual:

O desvio padrão para este processo pode ser calculado através da Equação 11.

$$s = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (11)$$

onde R é a média das amplitudes dos subgrupos (para períodos com amplitudes sob controle) e  $d_2$  é uma constante que varia de acordo com o tamanho da amostra, como mostrado na Tabela 3:

**Tabela 3. Constantes para o cálculo de Desvio Padrão**

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d_2$	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.70	2.85	2.97	3.08

Resolvendo a Equação 11 de acordo com a tabela 3, encontramos o seguinte desvio padrão:

$$s = 0.0043$$

#### 4.8.1 Índice de Capabilidade do Processo (Cp)

O Índice de Capabilidade do Processo (Cp), que é definido como o intervalo da tolerância dividido pela capacidade do processo, independente de sua centralização; foi calculado pela Equação 1, ilustrada no item 2.7.4.

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6s} = \frac{207.9850 - 207.9130}{6 * 0.0043} = 2,791$$

#### 4.8.2 Índice de Capabilidade do Processo (Cpk)

Assim como o Cp, o Cpk também é um índice de capacidade do processo. A diferença entre Cp e Cpk, é que ao contrário do Cp, o Cpk leva em conta a centralização do processo. Este é definido como o mínimo entre CPU e CPL. Ele relaciona a distância entre a média do

processo e o limite de especificação mais próximo, com a metade da dispersão total do processo.

Definição de CPU: Índice superior de capacidade, definido como a variação superior da tolerância dividida pela dispersão inferior real do processo. Expresso pela Equação 12.

$$CPU = \frac{LSE - \bar{X}}{3s} \quad (12)$$

onde neste caso,

$$CPU = \frac{207.9850 - 207.9492}{3 * 0.0043} = 2,775$$

Definição de CPL: Este é o índice inferior de capacidade, definido como a variação inferior da tolerância dividida pela dispersão inferior real do processo. Este é expresso pela Equação 13.

$$CPL = \frac{\bar{X} - LIE}{3s} \quad (13)$$

fazendo os cálculos para este caso, encontramos:

$$CPL = \frac{207,9492 - 207,9130}{3 * 0,0043} = 2,806$$

De acordo com a definição de Cpk, que toma o valor mínimo entre CPU e CPL, (Equação 2) encontramos um valor para Cpk = 2,775.

#### 4.8.3 Exigências do Cliente quanto ao Cpk

As exigências particulares do cliente quanto ao Cpk para esta operação são duas; a primeira refere-se a aprovação do produto e a segunda refere-se ao processo de fabricação do produto. Para a aprovação parcial do produto a exigência do cliente é um Cpk  $\geq 1,33$ . Para aprovação parcial do cliente, este exige um Cpk  $\geq 1,33$ . Para o processo de fabricação deste produto em maior escala a exigência do cliente quanto ao Cpk aumenta para um valor  $\geq 1,67$ .

Neste caso, como encontramos um valor para  $C_{pk} = 2,775$ ; este garante que o processo de fabricação é capaz.

## 5 APLICAÇÃO DO CEP PARA OPERAÇÃO 40

### 5.1 Identificação da Amostra

Máquina: Furadeira Múltipla

Frequência: 100%

Instrumento de Medida: Súbito

Característica:  $\varnothing 22,6 (0 + 0,13)$

Unidade: mm

Número de Amostras: 10            LSE: 22,73

Tamanho da Amostra: 5            LIE: -----

### 5.2 Cálculo da Média ( $\bar{X}$ ) e Amplitude (R)

Analogamente a Operação 30, a média ( $\bar{X}$ ) e amplitude (R), para cada subgrupo, foram calculadas pelas Equações 3 e 4, (item 4.2).

### 5.3 Cálculo da Amplitude Média ( $\bar{R}$ ) e Média do Processo ( $\bar{\bar{X}}$ )

Da mesma maneira que a amplitude média e a média do processo foram calculadas para a Operação 30, estas foram calculadas para Operação 40, pelas Equações 5 e 6 respectivamente (item 4.3).

### 5.4 Cálculo dos Limites de Controle

Para a Operação 40, os Limites de Controle também foram calculados para mostrar se a extensão na qual as médias e amplitudes dos subgrupos variaram e se apenas causas comuns de variação estão presentes. Do mesmo modo foram baseados no tamanho da amostra do subgrupo e na quantidade da variabilidade dentro dos subgrupos refletidos na amplitude.

Para a amplitude o cálculo do limite superior de controle foi calculado através da Equação 7 e o limite inferior de controle pela Equação 8. Para o cálculo dos limites superiores e inferiores

de controle para a média foram utilizadas as Equações 9 e 10, respectivamente (item 4.4). A aplicação das equações utilizadas nos cálculos dos limites superiores e inferiores de controle para a média e amplitude também obedecem as constantes mostradas na Tabela 1.

Lembrando que para amostras de tamanho inferiores a 7, o LIC para a amplitude será tecnicamente um número negativo; nestes casos não há limite inferior de controle.

## 5.5 Valores

Os valores coletados pelas Cartas de Controle e o valor das médias e amplitudes referentes a cada subgrupo são ilustrados na Tabela 4.

**Tabela 4. Valores (Operação 40)**

	<b>Subgrupos</b>									
	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>04</b>	<b>05</b>	<b>06</b>	<b>07</b>	<b>08</b>	<b>09</b>	<b>10</b>
<b>X<sub>1</sub></b>	22,660	22,665	22,650	22,655	22,655	22,670	22,660	22,660	22,675	22,655
<b>X<sub>2</sub></b>	22,660	22,665	22,655	22,660	22,665	22,665	22,660	22,655	22,655	22,660
<b>X<sub>3</sub></b>	22,665	22,660	22,660	22,675	22,660	22,670	22,645	22,660	22,655	22,655
<b>X<sub>4</sub></b>	22,670	22,665	22,660	22,655	22,660	22,665	22,665	22,645	22,660	22,650
<b>X<sub>5</sub></b>	22,660	22,645	22,665	22,660	22,655	22,655	22,650	22,650	22,660	22,660
<b><math>\bar{X}</math></b>	<b>22,663</b>	<b>22,660</b>	<b>22,658</b>	<b>22,661</b>	<b>22,659</b>	<b>22,665</b>	<b>22,656</b>	<b>22,654</b>	<b>22,661</b>	<b>22,658</b>
<b>R</b>	<b>0,010</b>	<b>0,020</b>	<b>0,015</b>	<b>0,020</b>	<b>0,010</b>	<b>0,015</b>	<b>0,020</b>	<b>0,015</b>	<b>0,020</b>	<b>0,015</b>

### 5.5.1 Limites de Controle

Resolvendo as Equações 5 e 6 (item 4.3) para esta operação, encontramos os seguintes valores para a amplitude média e a média do processo respectivamente:

$$\bar{\bar{X}} = 22,6595 \qquad \bar{R} = 0,0160$$

Resolvendo as Equações 9 e 10, que representam os limites superiores e inferiores de controle para a média, foram obtidos os seguintes valores:

$$\text{LSC: } 22,6687 \qquad \text{LIC: } 22,6503$$

Resolvendo as Equações 7 e 8 os valores dos limites superior e inferior para a amplitude média ( $\bar{R}$ ), foram os seguintes:

LSC: 0,0338

LIC: -----

## 5.6 Gráficos

### 5.6.1 Gráfico de Controle para $\bar{X}$

Seguindo o mesmo raciocínio da operação 30, foram calculados os valores dos limites superior e inferior de controle para  $\bar{X}$ . Os valores plotados no gráfico abaixo, ajudam a facilitar a visualização do processo. A Figura 19 representa a distribuição dos valores de  $\bar{X}$  dentro dos limites de controle.

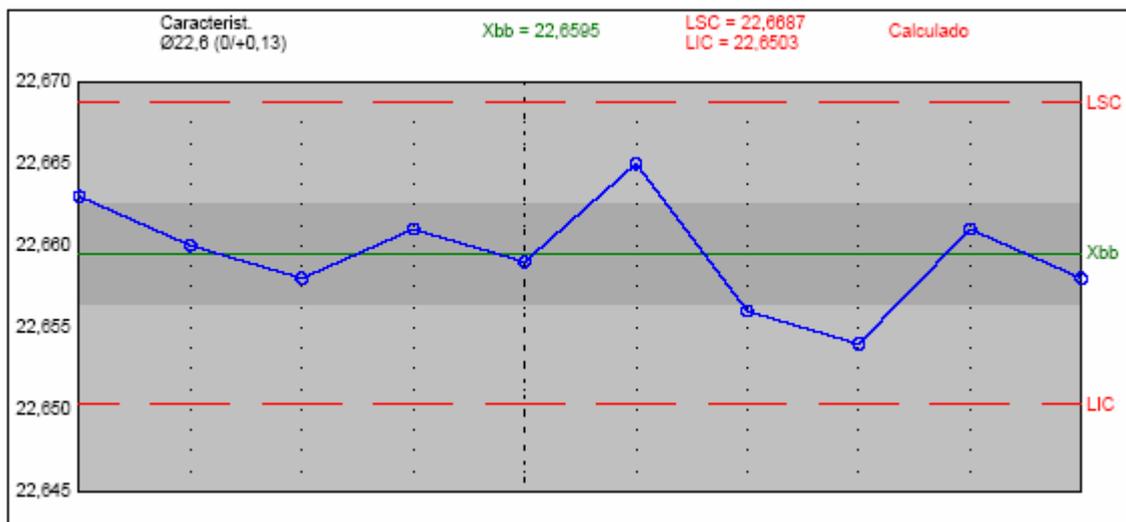


Figura 19. Gráfico de Controle para  $\bar{X}$

### 5.6.2 Gráfico de Controle para $\bar{R}$

Calculado os limites superior e inferior de controle para  $\bar{R}$ , estes valores também foram plotados em gráfico para facilitar a visualização do processo. Para o mesmo caso da Operação

30, para tamanhos de amostra inferiores a 7, (como explicado no item 4.4), não há limite inferior de controle. A Figura 20 representa o Gráfico de Controle para  $\bar{R}$ .

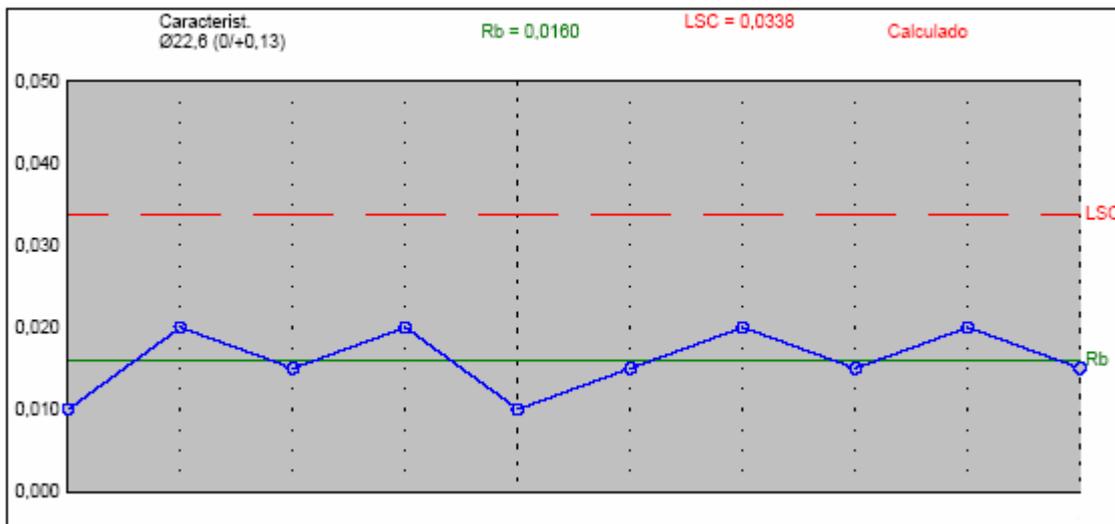


Figura 20. Gráfico de Controle para  $\bar{R}$

### 5.6.3 Histograma

Calculada as médias  $\bar{X}$ , um histograma foi criado para análise da distribuição e tendências do processo. Através deste histograma será possível analisar a distribuição e as tendências do processo. O histograma para a Operação 40 é representado pela Figura 21.

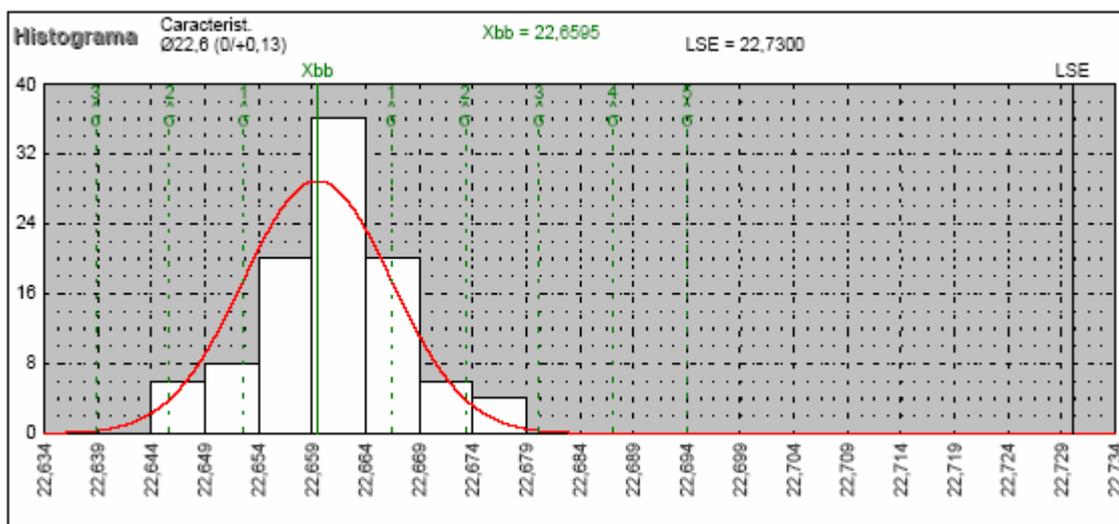


Figura 21. Histograma para Operação 40

## 5.7 Análise

### 5.7.1 Gráficos de Controle

Analisando os Gráficos de Controle para  $\bar{X}$  (Figura 19) e  $\bar{R}$  (Figura 20) encontramos:

Para  $\bar{X}$ : 0 amostras fora de controle

Para  $\bar{R}$ : 0 amostras fora de controle

Não há tendências de pontos consecutivos

### 5.7.2 Verificação da Normalidade da Distribuição

Analisando o histograma referente às médias do processo ( $\bar{X}$ ) (Figura 21), não encontramos nenhuma medida fora dos limites de especificação. Embora as médias calculadas encontrem-se dentro dos limites superior e inferior de especificação, o histograma está distribuído com um leve deslocamento para a direita de  $\bar{X}$ , acusando um processo que pode com o tempo encontrar medidas fora dos limites.

## 5.8 Capacidade do Processo

Especificação de Engenharia:

Máximo: 22,730

Mínimo: -----

$\bar{X}$ : 22,6595

Desvio Individual:

Cálculo pela Equação 11 do Desvio Padrão:

$$s = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

onde  $\bar{R}$  é a média das amplitudes dos subgrupos (para períodos com amplitudes sob controle) e  $d_2$  é uma constante que varia de acordo com o tamanho da amostra, como mostrado na Tabela 3 (Item 4.8).

Fazendo os cálculos, encontramos o seguinte desvio padrão:

$$s = 0.0069$$

### 5.8.1 Índice de Capabilidade do Processo (Cp)

O Índice de Capabilidade do Processo (Cp), definido como o intervalo da tolerância dividido pela capabilidade do processo, independente de sua centralização, foi calculado através da equação (1) (item 2.7.4) e encontrado o seguinte valor:

$$C_p = \frac{ISE - LIE}{6s} = \frac{22.730 - 22.600}{6 * 0.0069} = 3,14$$

### 5.8.2 Índice de Capabilidade do Processo (Cpk)

Como explicado no item 2.7.4 o Cpk também é um índice de capabilidade do processo que ao contrário do Cp, leva em conta a centralização do processo. Definido como o mínimo entre CPU e CPL (definidos no item 4.8.2), onde neste caso:

$$CPU = \frac{22.730 - 22.6595}{3 * 0,0069} = 3,406$$

De acordo com a definição de Cpk, que toma o valor mínimo entre CPU e CPL, lembrando que para este caso não existe CPL, devido ao processo não ter um limite inferior de especificação, ou seja, não é tolerada uma medida menor que 22,6 para o diâmetro interno deste furo (exigência do cliente), encontramos um valor para Cpk = 3,406.

### 5.8.3 Exigências do Cliente quanto ao Cpk

As exigências particulares do cliente quanto ao Cpk para esta operação são as mesmas que da Operação 30, a primeira refere-se a aprovação do produto e a segunda refere-se ao processo de fabricação do produto. Lembrando que para a aprovação parcial do produto a exigência do cliente é um Cpk  $\geq 1,33$ . Para uma peça fabricada com Cpk  $\geq 1,33$ ; este garante a aprovação

parcial pelo cliente. Para o processo de fabricação deste produto em maior escala a exigência do cliente quanto ao Cpk aumenta para um valor  $\geq 1,67$ .

Para este caso, como encontramos um valor para  $Cpk = 3,406$ ; este garante que o processo de fabricação é capaz.

## 6 Resultados e Conclusões

Para a realização deste estudo de caso foi necessário, que parte da organização estivesse comprometida com a melhoria e com o uso de métodos eficazes. A aplicação do CEP nesta empresa visava a satisfação do cliente, através do monitoramento e garantia da qualidade das variáveis envolvidas na obtenção do produto final.

O sucesso do controle estatístico de processos depende de vários fatores. Dentre eles, destacam-se o apoio da gerência, treinamento, comprometimento das pessoas envolvidas no processo, e principalmente, tomada de ações corretivas na ocorrência de causas especiais.

No estudo de caso apresentado, após definido o produto a ser controlado através do CEP, este avaliou duas características consideradas críticas. Estas operações foram avaliadas através de ferramentas da qualidade.

O estudo da capacidade do processo (aplicado a curto prazo) foi baseado em medidas coletadas durante as operações do processo. Os dados foram analisados em uma carta de controle evidenciando que o processo operava sob controle estatístico. Nenhuma causa especial foi encontrada e o índice de capacidade pode ser calculado.

Neste estudo de caso foi comprovado a importância e eficácia do CEP. Este mostrou-se uma ferramenta muito útil que pode ser aplicado não somente em uma empresa Metal-Mecânica como também em qualquer outro tipo de empresa manufatureira que possua uma linha de produção definida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC – Controle Total da Qualidade: no estilo japonês**. 8. ed. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

CARAVANTES, Geraldo. **Administração da Qualidade: superando desafios**. São Paulo: Markron Books, 1997.

CHIAVENATO, Idalberto. **Teoria geral da administração**. São Paulo: MacGraw, 1992.

CHRYSLER CORPORATION, FORD MOTOR COMPANY E GENERAL MOTORS CORPORATION. Fundamentos de Controle Estatístico do Processo (CEP). **Manual de Referência**, 1992.

GARVIN, David. **Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

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

JURAN, J. M. **Controle da qualidade handbook: ciclo de produtos do projeto à produção**. São Paulo: McGraw-Hill, 1992. 3 v.

MELLO; Carlos Henrique Pereira; SILVA, Carlos Eduardo Sanches da; TURIONI; João Batista; SOUZA, Luiz Gonzaga. **Iso 9001-2000**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

OLIVEIRA, Sidney Taylor. **Ferramentas para o aprimoramento da qualidade**. São Paulo: Pioneira, 1994.

PIRES, Verônica Tassinari. **Implantação do controle estatístico de processos em uma empresa de manufatura de óleo de arroz**. 1995. 115 f. UFRS, Porto Alegre, 2000.

SASHKIN, Marshall. **Gestão da qualidade total na prática**. 1. ed. Rio de Janeiro: Campos, 1994.

SLACK, Nigel; STUART, Chambers; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Werkeman, 1995.