

**Universidade Estadual de Maringá**  
**Centro de Tecnologia**  
**Departamento de Informática**  
**Curso de Engenharia de Produção**

**UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE LIVRE NO CONTROLE  
ESTATÍSTICO DE PROCESSO NA EMPRESA MLAMON**

*Fabio Marcelo de Souza*

**TCC-EP-19-2007**

Universidade Estadual de Maringá  
Centro de Tecnologia  
Departamento de Informática  
Curso de Engenharia de Produção

## **UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE LIVRE NO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO NA EMPRESA MLAMON**

*Fabio Marcelo de Souza*

**TCC-EP-19-2007**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção, do Centro de Tecnologia, da Universidade Estadual de Maringá.  
Orientador(a): Prof.<sup>(a)</sup>: Dr. Wagner A. dos S. Conceição

**Maringá – Paraná  
2007**

**Fabio Marcelo de Souza**

**Utilização de Software Livre no Controle Estatístico de Processo na Empresa  
Mlamon**

Este exemplar corresponde à redação final do Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção da Universidade Estadual de Maringá, pela comissão formada pelos professores:

---

Orientador(a): Prof<sup>(a)</sup>. Wagner A. dos S. Conceição  
Departamento de Engenharia Química, DEQ

---

Prof<sup>(a)</sup>. Reginaldo Luiz de Almeida  
Departamento de Informática, CTC

Maringá, outubro de 2007

## EPÍGRAFE

*“não é triste mudar de idéia; triste é não ter idéias para mudar” – anônimo*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço este trabalho de conclusão de curso a Deus, pois foi ele que me deu paciência e sabedoria para escrever este trabalho de conclusão.

A minha família: meu pai e minha mãe, foram que eles que através de seus esforços me deram uma boa educação e a oportunidade de ter um futuro melhor.

Ao meu irmão que é a pessoa que esta sempre ao meu lado para me ajudar no que for preciso.

A minha namorada que a pessoa que esta sempre me apoiando nos meus projetos para o futuro.

Aos meus colegas de classe, em especial a Andréia Lemos, Fernanda Pagani e a Maria Durães, que são as pessoas que mais me ajudaram a concluir o curso.

Aos meus amigos de boteco que muitas vezes me atrapalharam me chamando para ir tomar uma cerveja.

Ao meu orientador Wagner que teve muita paciência pela minha falta de tempo de poder fazer tudo que ele queria e pelas dicas que ele tem me dado.

A Sr(a). Claudete, que foi quem permitiu com que eu realiza-se o estudo de caso na Mlamon.

Em especial eu ofereço a outro aluno, que foi quem mais ajudou a me distrair nas aulas chatas, com os seus momentos de loucura me fazendo dar muitas risadas e conseguir com que eu fica-se até o final da aula para esperar qual seria a próxima “perola” que ele iria dizer. Muito obrigado mesmo.

## RESUMO

Nas últimas décadas um grande número de empresas viram a necessidade da busca pela melhoria contínua dos seus produtos, para sobreviver no mercado competitivo. Isto se deve ao fato dos consumidores exigirem produtos com qualidade, e uma maneira de se buscar a qualidade de seus produtos, algumas empresas utilizam os gráficos de controle. Os gráficos de controle estatísticos permitem identificar problemas em processos industriais através de informações de amostras recentes. A elaboração destes gráficos geralmente é feita manualmente ou computacionalmente através de programas como o Statistica e o Excel ambos software proprietários. Este trabalho de conclusão de curso apresenta o programa livre Gnu Octave como uma opção para elaboração destes tipos de gráficos tanto para área acadêmica como para o uso em pequenas e médias empresas. O software GNU Octave, é um software fácil de ser utilizado e muito prático, é uma excelente ferramenta para ser utilizada pelas empresas que querem aplicar os gráficos de CEP. A grande vantagem deste software é que caso a empresa não tenha ainda definido o LSC e LIC, ele acaba mostrando para o usuário, através dos dados coletados, qual será o LIC e o LSC. Isto é fundamental para uma empresa que está sempre buscando a qualidade, poder saber qual seria o LIC e LSC para que possa tomar as medidas necessárias caso algum lote de produção ultrapasse estes limites. O estudo caso deste trabalho foi realizado na empresa Mlamon, onde foi definido os LIC e LSC de diversos produtos.

Palavras-chave: Controle de Qualidade; Gráfico de Controle Estatístico X; Gráfico de controle estatístico R; software livre; Gnu Octave; LIC; LSC.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>iii</b>
<b>SUMÁRIO .....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>vi</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVO .....	3
<b>2 O PAPEL DA ESTATÍSTICA NA ENGENHARIA .....</b>	<b>4</b>
2.1 HISTÓRIA DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO .....	5
<b>3 CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE (CEQ).....</b>	<b>7</b>
3.1 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO (CEP).....	7
3.2 FERRAMENTAS DO CEP: GRÁFICOS DE CONTROLE.....	9
<b>4 GRÁFICO DE CONTROLE DE MÉDIA (X) E DE AMPLITUDE (R).....</b>	<b>11</b>
<b>5 SOFTWARE: GNU OCTAVE.....</b>	<b>14</b>
<b>6 METODOLOGIA.....</b>	<b>16</b>
6.1 A EMPRESA.....	16
6.2 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS.....	16
6.2.1 Polia.....	17
6.2.2 Eixo.....	18
6.2.3 Engrenagem.....	19
6.2.4 Porca.....	20
<b>7 RESULTADOS.....</b>	<b>21</b>
7.1 POLIA.....	21
7.2 EIXO.....	23
7.3 ENGENHARIA.....	25
7.4 PORCA.....	27
<b>8 CONCLUSÃO.....</b>	<b>29</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>27</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: ESTRATÉGIA PARA MELHORIAS NO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS.....	9
FIGURA 2: GRÁFICO DE CONTROLE .....	10
FIGURA 3: ÁREA DE TRABALHO DO OCTAVE E GRÁFICO GERADOPELO GNUPLOT .....	15
FIGURA 4: POLIA.....	17
FIGURA 5: EIXO.....	18
FIGURA 6: ENGRENAGEM.....	19
FIGURA 7: PORCA.....	20
FIGURA 8: GRÁFICO DE CONTROLE X PARA A POLIA.....	22
FIGURA 9: GRÁFICO DE CONTROLE R PARA A POLIA .....	22
FIGURA 10: GRÁFICO DE CONTROLE X PARA O EIXO.....	24
FIGURA 11: GRÁFICO DE CONTROLE R PARA O EIXO.....	24
FIGURA 12: GRÁFICO DE CONTROLE X PARA A ENGRENAGEM .....	26
FIGURA 13: GRÁFICO DE CONTROLE R PARA A ENGRENAGEM.....	26
FIGURA 14: GRÁFICO DE CONTROLE X PARA A PORCA .....	28
FIGURA 15: GRÁFICO DE CONTROLE R PARA A PORCA.....	28

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: DADOS COLETADOS PARA A POLIA.....	21
TABELA 2: DADOS COLETADOS PARA O EIXO.....	23
TABELA 3: DADOS COLETADOS PARA A ENGRENAGEM.....	25
TABELA 4: DADOS COLETADOS PARA A PORCA.....	27

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEP	Controle de processo estatístico
CEQ	Controle estatístico de qualidade
LM	Linha média
LIC	Limite inferior de controle
LSC	Limite superior de controle
X	Controle de média
R	Amplitude

# 1 INTRODUÇÃO

A qualidade é uma variável competitiva fundamental para as empresas na atualidade. A manutenção dos níveis de qualidade requer a instituição de estratégias de controle e acompanhamento. O controle estatístico da qualidade é uma técnica que é fundamental no monitoramento de dispositivos laboratoriais e dos equipamentos de processo.

Em uma linha de produção temos a impressão de que todas as peças são iguais, mas olhando com um pouco mais de cuidado, percebemos que elas não são iguais. Por este motivo é que os processos devem ser monitorados, para que podemos detectar alguma imperfeição no sistema produtivo. A principal ferramenta utilizada para monitorar os processos são os gráficos de controle. ( COSTA, 2003 )

O controle de processos é fundamental para a manutenção da qualidade de bens e serviços. Antigamente para se ter a sobrevivência de uma organização a exigência era a manutenção da conformidade de produção , hoje em dia a exigência é a qualidade, de forma a poder ganhar o mercado frente aos seus concorrentes. Muitos autores já deram vários significados para qualidade. Segundo Deming ( 2000 ): *“Qualidade significa atender e, se possível, exceder as expectativas do consumidor.* Já Taguchi ( 1999 ): *“O uso e o descarte de um produto sempre acarreta um prejuízo para a sociedade, ou seja, quando menor o prejuízo, melhor será a qualidade do produto”.*

Segundo Montgomery (1985), a qualidade pode ser definida como o conjunto de atributos que tornam um bem ou serviço plenamente adequado ao uso para o qual foi concebido. Complementarmente, para Betersfield (1986), a qualidade é o conjunto de características de um produto ou serviço que contribui para a satisfação dos clientes. Essa satisfação envolve preço, segurança, disponibilidade, durabilidade e usabilidade.

De acordo com Irwin (1965), a engenharia da qualidade é o conjunto das técnicas e procedimentos para estabelecer critérios e medidas da qualidade de um produto, identificar produtos que não estejam conformes a tais critérios, evitando que cheguem ao mercado, e acompanhar o processo de produção, identificando e eliminando as causas que levaram a não-conformidades. O enfoque tradicional da engenharia da qualidade enfatiza a identificação das causas dos problemas e a eliminação dessas causas, conduzindo a melhoria continua dos processos.

O controle do processo é usualmente o método preferido para controlar qualidade, porque a qualidade está sendo “construída” no processo em vez de ser inspecionada no final. (SLACK et al., 1997). Resumidamente, o Controle Estatístico do Processo (CEP) é uma metodologia que potencialmente permite conhecer o processo, manter o mesmo em estado de controle estatístico e melhorar a capacidade do mesmo. Tudo isto se resume à redução de variabilidade do processo (SCHISSATTI, 1998).

Há também quem defina qualidade como sendo o valor de um bem ou serviço que quantifica a satisfação do consumidor em relação a preço, confiabilidade durabilidade, estética pontualidade, entre outros. (COSTA, 2003)

Uma ferramenta que auxilia no controle de qualidade é o controle estatístico. As vantagens do controle estatístico é que permite que as pessoas que trabalham na produção possam saber se estão produzindo produtos dentro das especificações e caso não estejam possam tomar uma decisão preventiva para que não ocorram mais produtos fora das especificações. (COSTA, 2003)

O monitoramento de processos gera custos que se pagam facilmente, pois qualidade agrega valor. Os custos com o monitoramento de processos estão ligados aos treinamentos, que muitas vezes é necessário realizar para que o funcionário que esteja fazendo o controle esteja apto a realizar com eficiência. Não adianta realizar um controle de processos, se quem tem esta função não saiba o que está fazendo na realidade.

O controle estatístico pressupõe o estabelecimento de normas de controle que são gráficos da média e da dispersão do requisito de qualidade.

A utilização de gráficos de controle estatístico de qualidade é uma maneira simples e eficiente para o monitoramento da estabilidade de um procedimento analítico e para verificações intermediárias, realizadas para manutenção da confiança no status de calibração de equipamentos de medição, a partir do momento em que as rotinas do processo já estejam definidas.

A cada medição, compara-se o resultado obtido com limites de controle de qualidade: medições fora dos limites indicam a presença de causas especiais de variabilidade, anômalas ao processo, que prejudicam a qualidade do produto manufaturado. Uma vez identificadas as causas especiais, pode-se atuar sobre elas, melhorando continuamente a qualidade do produto.

Os gráficos de controle de qualidade permitem a redução sistemática da variabilidade nas características de qualidade do produto, representadas pelas variáveis monitoradas nos gráficos. Assim, melhora-se a qualidade intrínseca, a produtividade, a confiabilidade e o custo do que está sendo produzido. (MICHEL, 2002)

Um aspecto importante da construção de gráficos de controle de qualidade é a definição dos limites de qualidade de aceitação para a variabilidade dos resultados obtidos. Pode-se definir estes limites através da experiência e conhecimento prévio do sistema ou a partir de critérios obtidos em normas ou especificações.

Gráficos de controle estatístico da qualidade podem ser gerados manualmente ou computacionalmente.

Para a construção dos gráficos de controle de qualidade geralmente é utilizado o software proprietário Statistica, utilizando a opção "Quality Control" e gráfico para variáveis tipo "Moving Average - MA", e o Excel que não apresenta uma ferramenta específica para gerar estes tipos de gráficos sendo necessário a substituição de formulas e geralmente a repetição de planilhas para cada entrada de dados.

Existem disponíveis, atualmente, excelentes programas de livre distribuição e/ou de distribuição gratuita e de código fonte aberto, para a realização das mais diversas atividades de pesquisa, de ensino ou mesmo de produtividade. Esses programas são desenvolvidos por milhares de pessoas no mundo inteiro e tornam-se cada vez mais interessantes para a comunidade científica e ao público em geral. A utilização de tais ferramentas computacionais ainda é muito modesta em vários segmentos da comunidade científica brasileira.

## **1.1 OBJETIVO**

Este trabalho tem como objetivo principal utilizar o software livre *Gnu Octave* como uma alternativa computacional para elaboração de gráficos de controle de qualidade, que podem ser usados tanto na área acadêmica como também para pequenas e médias empresas.

## 2 O PAPEL DA ESTATÍSTICA NA ENGENHARIA

Um engenheiro é alguém que resolve problemas de interesse da sociedade, pela aplicação eficiente de princípios científicos. Os engenheiros executam isso através do refinamento do produto ou processos existentes, ou pelo projeto de um novo produto, ou processo que encontre as necessidades dos consumidores. O método de engenharia ou científico é a abordagem para formular e resolver esses problemas. (MONTGOMERY, 2003) As etapas no método de engenharia são dadas a seguir:

1. Desenvolver uma descrição clara e concisa do problema.
2. Identificar, no mínimo tentar, os fatores importantes que afetam esse problema ou que possam desempenhar um papel em sua solução.
3. Propor um modelo para o problema, usando conhecimento científico ou de engenharia do fenômeno estudado. Estabelecer limitações ou suposições do modelo.
4. Conduzir experimentos apropriados e coletar dados para testar ou validar o modelo-tentativa ou conclusões feitas nas etapas 2 e 3.
5. Refinar o modelo, com base nos dados observados.
6. Manipular o modelo de modo a ajudar o desenvolvimento da solução do problema.
7. Conduzir um experimento apropriado para confirmar que a solução proposta para o problema é efetiva e eficiente.

Tirar conclusões ou fazer recomendações baseadas na solução do problema

Note que o método de engenharia caracteriza uma forte relação recíproca entre o problema, os fatores que podem influenciar sua solução, um modelo do fenômeno e a experiência para verificar a adequação do modelo e da solução proposta para o problema. Nas etapas 2-4 vários ciclos ou iterações dessas etapas podem ser requeridos para obter a solução final. Conseqüentemente, engenheiros têm de saber como planejar, eficientemente, os experimentos, coletar dados, analisar e interpretar os dados e entender como os dados observados estão relacionados ao modelo que eles propuseram para o problema sob estudo. (MONTGOMERY, 2003)

O campo da estatística lida com a coleta, a apresentação, a análise e o uso dos dados para tomar decisões, resolver problemas e planejar produtos e processos. Devido a muitos aspectos da prática de engenharia envolverem o trabalho com dados, obviamente algum conhecimento de estatística é importante para qualquer engenheiro. Especificamente, técnicas estatísticas podem ser uma ajuda poderosa no planejamento de novos produtos e sistemas, melhorando os projetos existentes e planejando, desenvolvendo e melhorando os processos de produção. (MONTGOMERY, 2003)

Métodos estatísticos são usados para nos ajudar a entender a variabilidade. Por variabilidade, queremos dizer que sucessivas observações de um sistema ou fenômeno não produzem exatamente o mesmo resultado. Todos nós encontramos variabilidade em nosso dia-a-dia e o julgamento estatístico pode nos dar uma maneira útil para incorporar essa variabilidade em nossos processos de tomada de decisão. Por exemplo, considere o desempenho de consumo de gasolina de seu carro. Você sempre consegue o mesmo desempenho de consumo em cada tanque de combustível? Naturalmente, não - na verdade, algumas vezes o desempenho varia consideravelmente. Essa variabilidade observada no consumo de gasolina depende de muitos fatores, tais como o tipo de estrada mais usada recentemente (cidade ou estrada), as mudanças na condição do veículo ao longo do tempo (que poderiam incluir fatores como desgaste do pneu ou compressão do motor ou desgaste da válvula), a marca e/ou número de octanagem da gasolina usada, ou mesmo, possivelmente, as condições climáticas. Esses fatores representam fontes potenciais de variabilidade no sistema. A Estatística nos fornece uma estrutura para descrever essa variabilidade e para aprender sobre quais fontes potenciais de variabilidade são mais importantes ou quais têm o maior impacto no desempenho de consumo de gasolina. (MONTGOMERY, 2003)

## **2.1 História do controle estatístico de processo**

Walter A. Shewhart foi quem iniciou o controle estatístico de processos por volta de 1924 quando ele desenvolveu e aplicou os gráficos de controle na empresa Bell Telephone Laboratories. Como era um dispositivo para uso no “chão de fábrica”, os gráficos de controle tinham que ser simples de construir e de utilizar, por causa da pouca instrução dos operários. A simplicidade dos gráficos motivou a utilização em uma infinidade de aplicações, mas muitas vezes eles só serviam para decorar paredes, pois não foi dado um treinamento para ensinar a sua utilidade. (COSTA, 2003)

Com isto Shewhart chegou a conclusão que um processo é formado por uma combinação de fatores (recursos humanos, metodologia, equipamentos, matéria-prima e ferramental), que gera um produto ou serviço com determinadas características.

Sem um bom conhecimento dos conceitos estatísticos em que se baseiam os gráficos de controle, sem um estudo detalhado do processo, e por vezes, sem uma intervenção profunda nele, não é possível transformar o gráfico de controle em uma ferramenta efetiva para o monitoramento de processos.

### **3 CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE (CEQ)**

Segundo Reis (2001), o Controle Estatístico da Qualidade (CEQ) é um dos ramos do Controle da Qualidade, e o Controle de Qualidade é parte integrante da Avaliação da Qualidade, sendo este muito mais abrangente incorporando inclusive também o CEP. Conforme afirma Paladini (1995; apud; REIS, 2001), o “Controle de Qualidade” consiste na comparação dos resultados obtidos com os padrões ou objetivos pré-fixados. Seria um modo de estudo das características de um processo com o auxílio de índices de maneira a fazer comportar-se da forma desejada.

O objetivo principal do CEQ é a redução sistemática da variabilidade nas características principais para a qualidade do produto. Woodall e Montgomery (1985; apud; REIS, 2001) definem o CEQ como um ramo da Estatística Industrial, compondo-se basicamente de: Inspeção (Aceitação por Amostragem: Controle Estatístico de Processo – CEP, Planejamento de Experimentos e Estudo de Capabilidade de Processos). O conceito de Controle Estatístico da Qualidade (CEQ) baseia-se no fato de que para se exercer o controle de um processo, ou uma série de processos que levam ao produto acabado, precisa-se entender o seu comportamento. E o CEQ deu base para se definir o comportamento do processo como bom ou aceitável. Em função disso, todos os problemas podem ser rastreados, identificados e eliminados de um processo, de modo que ele continue a produzir produtos com qualidade aceitável.

#### **3.1 Controle Estatístico de Processo (CEP)**

O CEP utiliza técnicas estatísticas para analisar o comportamento do processo de fabricação e efetuar ações corretivas de melhoria, que permitam mantê-lo dentro de condições preestabelecidas. Tem como objetivo “auxiliar na obtenção dos padrões especificados de qualidade e reduzir a variabilidade em torno dos padrões especificados” (REIS, 2001). Nesse contexto, a variabilidade não pode ser eliminada, mas pode ser conhecida e controlada. “Quando somente causas comuns (controláveis ou atribuíveis) afetam o processo, ele é dito controlável e previsível”. Assim, o Processo se considera sob Controle Estatístico quando a variabilidade do mesmo é atribuída unicamente ao processo (causas comuns), enquanto que o Processo se considera fora de Controle Estatístico quando a variabilidade deste se deve a

causas especiais de variação, sendo que as causas ocorrem de forma imprevisível gerando instabilidade no processo.

De acordo com Shewart (1931) *apud* Irwin (1965), o operário é perfeitamente capaz de compreender, observar e controlar o que está sendo produzido, por isso, foram desenvolvidas técnicas para tal. Foram introduzidos, por exemplo, os conceitos de controle estatístico de processos e de ciclo de melhorias contínuas. Ao executar sua atividade, o operário inicia o processamento e deve observar as variações. Se essas variações forem estatisticamente aleatórias, o processo está “sob controle”, e essa variação é devida as “causas comuns”. Se apresentarem, porém, um viés sistemático, existe alguma “causa especial” que provoca a variação, a qual pode ser identificada e eliminada. Causas comuns são as que fazem parte da natureza do processo, sendo responsáveis pela variabilidade natural do processo (GRAÇA, 1996). Causas especiais, por sua vez, são as causas específicas, acidentais e imprevisíveis que geralmente afetam uma determinada operação da máquina, operador ou período de tempo (GRAÇA, 1996).

O uso das cartas de controle oferece diversas vantagens como ferramenta de controle da qualidade: são relativamente simples de serem elaboradas, podendo ficar a cargo do próprio operador de um equipamento ou executor de um serviço; permitem um ajuste contínuo do processo, mantendo-o sob controle; oferecem uma visão gráfica do andamento do processo e permitem avaliar a sua capacidade. Além disso, o seu custo é geralmente inferior ao de uma inspeção por amostragem executada no produto acabado (IRWIN, 1965).

Infelizmente, segundo Grant & Leavenworth (1972), a maioria das inspeções dentro de uma fábrica de manufaturados costuma usar atributos para classificar seus produtos. Essa classificação trás apenas dois resultados: aceito ou rejeitado (o que irá gerar refugo e retrabalho). Geralmente, essas medições são realizadas via inspeção visual, calibradores passa-não-passa, painéis de testes, dentre outros métodos (PALADINI, 1995). Segundo a classificação de Owen (1989), este é um sistema de controle dito detectivo, e seu maior objetivo é definir se um determinado produto ou lote, já produzido, deve ou não ser aceito. O mesmo autor também classifica os sistemas de controle como preventivos, os quais são um conjunto de atividades de controle das condições do processo, visando evitar que sejam produzidos produtos defeituosos. Para esse sistema, uma das técnicas mais utilizadas é o CEP.

Podemos identificar as etapas envolvidas na operacionalização do controle estatístico de processos como na figura abaixo:

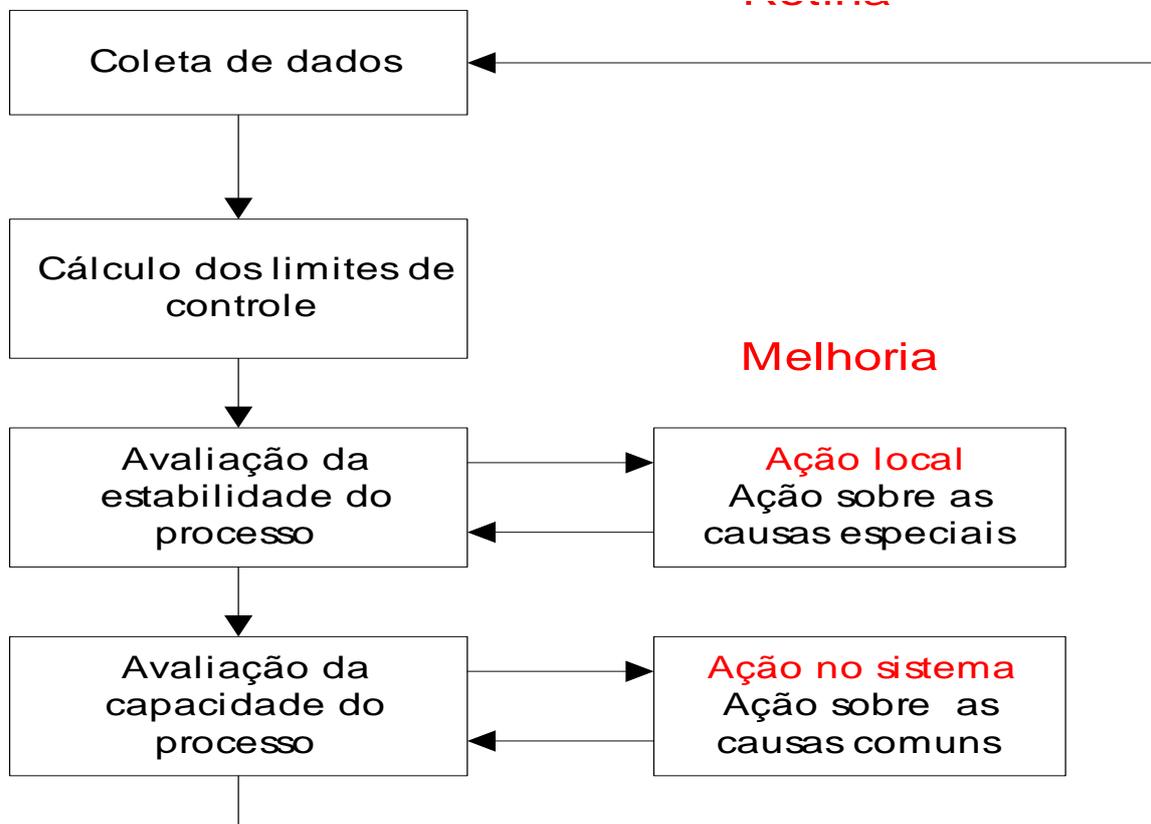


Figura 1: Estratégia para melhorias no controle estatístico de processos

Fonte: RIBEIRO e CATEN, 1998

### 3.2 Ferramentas do CEP: gráficos de controle

Para a implantação da qualidade foram desenvolvidas técnicas que facilitam a aplicação de conceitos de gerenciamento da qualidade. Também são usadas diversas ferramentas de coleta e apresentação de informações. Dentre essas ferramentas destaca-se os gráficos de controle. De acordo com Levine (2000), gráfico de controle é um meio de monitorar as variações nas características de um produto ou serviço, focalizando a dimensão do tempo no qual o sistema produz produtos ou serviços, e estudando a natureza da variabilidade no sistema. O gráfico de controle pode ser utilizado para estudar o desempenho passado e/ou para avaliar condições presentes. Dados coletados por meio de um gráfico de controle podem formar a base para a melhoria do processo. Além de oferecer uma exposição visual dos dados que representam um

processo, o principal foco do gráfico de controle é a tentativa de separar as causas de variações especiais (ou identificáveis), das causas de variações comuns ou devidas ao acaso. A distinção entre as duas causas de variação é crucial, uma vez que causas especiais de variações são consideradas como sendo aquelas que não fazem parte de um processo e são passíveis de correção ou exploração sem modificar o sistema, enquanto as causas comuns de variação somente podem ser reduzidas por meio de modificações no sistema.

Este tipo de gráfico é amplamente utilizado quando se pretende avaliar grandezas mensuráveis, como diâmetro, peso e comprimento, pro exemplo. Os gráficos de variáveis podem ser considerado como a mais típica das aplicações do controle estatístico do processo, e um dos principais atributos é a precisão das informações fornecidas. A forma geral de um gráfico de controle estatístico é demonstrado na figura 2:



**Figura 2: Gráfico de controle**

Os gráficos de controle estatístico são formados por três linhas paralelas ao eixo das abscissas. A intermediária é chamada de linha média (LM). AS outras duas são chamadas limites de controle. A região compreendida entre os limites de controle é chamada de zona de controle. As regiões abaixo do limite inferior de controle (LIC) e acima do limite superior de controle (LSC) são denominados zonas de ação.

Diz-se que um processo esta “sob controle” quando nenhum correspondente a uma medida está fora da zona de controle.

#### 4 GRÁFICO DE CONTROLE DE MÉDIA (X) E DE AMPLITUDE (R)

Quando lidamos com uma característica de qualidade que pode ser expressa como uma

medida, é costume monitorar tanto  $\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$  o valor médio da característica de qualidade

como sua variabilidade. O controle sobre a qualidade média é exercido pelo gráfico de controle para médias, geralmente chamado de gráfico X. A variabilidade do processo pode ser controlada pelo gráfico da amplitude (gráfico R) ou pelo gráfico do desvio padrão (gráfico S), dependendo de como o desvio padrão da população seja estimado. (MONTGOMERY, 2003)

É utilizado para representar os valores resultantes de medições, que devem ser efetuadas periodicamente (p. ex. de hora em hora, a cada vinte minutos, etc). As etapas para elaboração são dadas a seguir.

Para a construção do gráfico de controle da média (X) e de amplitude (R), tem-se os seguintes passos:

1- Fixar o tamanho das amostras (n), e o número de amostras (k).

2- Para cada amostra calcular média aritmética:

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad \text{Sendo } j = 1, 2, \dots, k \quad (1)$$

3 – Para cada amostra calcular amplitude:

$$R_j = X_{j \max} - X_{j \min} \quad (2)$$

4- Calcular a média das médias:

$$\bar{\bar{x}}_j = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{x}_i}{k} \quad (3)$$

5- Calcular média das amplitudes:"

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k} \quad (4)$$

6- Determinar os limites de controle para o gráfico da média:

a-Limite superior de controle:

$$LSC_x = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \quad (5)$$

b-Linha média:

$$LM_x = \bar{\bar{x}} \quad (6)$$

c-Limite inferior de controle:

$$LSC_x = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \quad (7)$$

7- Determinar os limites de controle para o gráfico da média:

a-Limite superior de controle:

$$LSC_R = D_4 \cdot \bar{R} \quad (8)$$

b-Linha média:

$$LM_R = \bar{R} \quad (9)$$

c-Limite inferior de controle:

$$LSC_R = D_3 \cdot \bar{R} \quad (10)$$

As constantes  $A_2$ ,  $D_3$  e  $D_4$  elaboradas por Grant e Leavenworth (1964) que facilitam os cálculos dos limites.

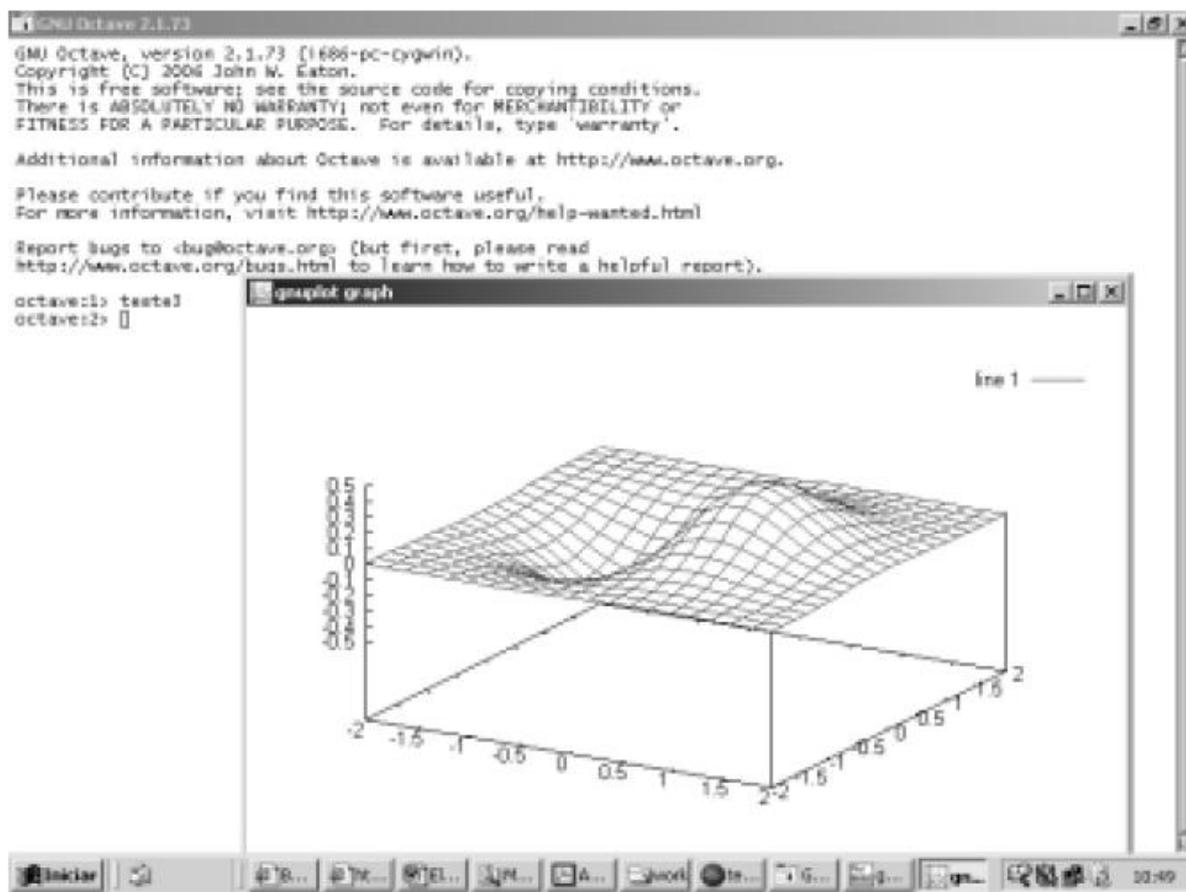
## 5 SOFTWARE: GNU OCTAVE

O Octave é um software livre, escrito por vários colaboradores e gerenciado por Eaton (1977). Originalmente concebido como livro texto para estudantes de graduação de engenharia química para a resolução de equações químicas complexas; inicialmente foi escrita por James B. Rawlings da University of Wisconsin-Madison e John G. Ekerdt of the University of Texas. O Octave é um programa de linguagem aberta, logo, muitas pessoas contribuem com sentenças de comando que são adicionados as versões em fase de teste, essas contribuições estão disponíveis no site da Gnu Octave.

O software esta disponível sob os termos da licença publica geral do Gnu ( Free Software Foundation, 1991).

O programa possui uma interface por linha de comandos para a solução numérica de problemas lineares e/ou não lineares e para implementar outros experimentos numéricos usando uma linguagem que é compatível com o programa proprietário Matlab. O Matlab foi desenvolvido no inicio da década de 80 por Cleve Moler, no departamento de Ciência da Computação da Universidade do Novo México, EUA. Ambos Matlab e Octave são software interativos de alta performance voltado para o calculo numérico. Fazem analise numérica, cálculo com matrizes, processamento de sinais e construção de gráficos em ambiente fácil de usar, onde problemas e soluções são expressos somente como eles são escritos matematicamente, ao contrário da programação tradicional, os elementos básicos de informação é uma matriz que não requer dimensionamento.

Toda a parte gráfica do Octave é feita pelo programa Gnuplot (Williams, 2001). É possível gerar gráficos bidimensionais e alguns tipos de gráficos tridimensionais. O Gnuplot funciona como uma ferramenta subjacente. Muitos outros recursos gráficos podem ser obtidos no Octave, incluindo animações. A figura abaixo mostra a área de trabalho do Octave e um gráfico gerado pelo Gnuplot:



**FIGURA 3: Área de trabalho do Octave e gráfico gerado pelo Gnuplot.**

Fonte: Gnu Octave

O Octave possui muitas ferramentas para a solução numérica de problemas comuns de álgebra linear, para a determinação de raízes de equações, polinômios e integração de equações diferenciais algébricas.

Programas como o Octave são usados frequentemente no lugar de linguagens de programação científica como o C ou Fortran, por já trazerem embutidos muitas ferramentas numéricas e permitirem a visualização gráfica dos resultados de forma fácil, além da já citada facilidade de entrada e saída de dados que não requerem dimensionamento, nem reserva de espaço na memória.

Uma das vantagens do Octave é que ele tem versões tanto para sistemas Linux como para o windows.

## **6 METODOLOGIA**

Existem vários tipos de abordagens para implantação do CEP, entre eles temos: abordagem de Motorola, Abordagem de Breyfogle, abordagem Montgomery e abordagem Owen.

A abordagem que será adotada para a realização do estudo de caso será a abordagem de Montgomery por ser a mais simples e conseguir apresentar a mesma eficiência que as outras abordagens.

### **6.1 A empresa**

A empresa onde foi aplicado o CEP com a utilização de um software livre é a Mlamon, que esta localizada em Maringá no norte do Paraná que está no mercado desde 1979.

A Mlamon é uma indústria metal – mecânica que fábrica peças de reposição para colheitadeiras e atualmente está começando a fabricar peças de reposição para tratores. Ela é considerada uma empresa de médio – grande porte, sendo considerado a terceira maior no seu ramo de atuação.

A Mlamon apresenta atende clientes em diversas partes do país, Argentina, Bolívia e Paraguai. Um de seus objetivos e atender toda a América- Latina, o que obriga a busca por uma melhoria continua em seu processo produtivo e principalmente na qualidade de seus produtos, por isso que ela está em processo de implantação da ISO 9000.

Possui um mix com mais de 2000 (dois mil) produtos, divididos em seis marcas de colheitadeiras: New Holland, Massey Ferguson, Case, SLC, John Deese e Ideal.

### **6.2 Coleta e análise dos dados**

Os dados foram coletados no período de 1 de Junho de 2007 a 29 de Junho de 2007, o período longo de coleta de dados é devido ao fato de que as peças escolhidas para a análise não serem produzidas todos os dias.

Os produtos escolhidos para a análise são: eixo, engrenagem, porca e polia. Cada vez que era produzido um destes produtos foi pedido ao operador para que ele, a cada 15 minutos de produção, separa-se uma peça e coloca-se em um saco para que depois fosse pesada cada uma delas. Com isso a cada lote produzido era separado em média de seis peças.

### **6.2.1 Polia**

Polia é também chamado de roldana, ela é uma peça mecânica muito comum a diversas máquinas. A polia é geralmente constituída por uma circunferência de material rígido, normalmente metal, mas também é comum em madeira, que girando em um eixo, transmite a força e movimento para uma outra polia de maior, igual ou de menor diâmetro, através de uma correia. A polia realiza o mesmo trabalho da engrenagem.

A polia escolhida para a análise é utilizada nas colheitadeiras da linha New Holland, onde ela através de um sistema com correias, esteira e peneiras, faz a separação dos grãos e da parte que não é útil para o produtor. Na figura 4 é apresentado o produto analisado:



**Figura 4: Polia**

Fonte: Autor

Como foi dito anteriormente a cada 15 minutos de produção foi pedido ao operador, para que selecione-se a última peça produzida e coloque-se em um saco, onde era colocado uma etiqueta com a data, a hora e o número de coleta, ou seja, se está era a primeira peça separada, a segunda e assim por diante, do lote que está sendo produzido.

Após as peças terem sido todas separadas elas foram pesadas e anotadas para posteriormente colocar os dados no software para que seja analisado se o lote está dentro dos limites.

### 6.2.2 Eixo

O eixo é fabricado de duas matérias, ferro redondo mecânico ou ferro redondo trefilado. Ele é de extrema importância para uma colheitadeira, pois muitos destes eixos são acoplados em polias e engrenagens. Alguns eixos servem de sustentação para as rodas.

O eixo escolhida para a análise é utilizada nas colheitadeiras da linha New Holland, Massey Ferguson e Case. Este eixo é acoplado a uma polia, que através de roldanas faz com que funcione o elevador da palha, que é onde faz com que os produtos indesejados para o produtor rural seja expelido de dentro da máquina, através de um tubo que fica na parte superior da colheitadeira. Na figura abaixo apresenta o produto analisado:



**Figura 5: Eixo**

Fonte: Autor

Novamente, como já foi realizado para a polia, a cada 15 minutos de produção foi pedido ao operador, que selecione-se a última peça produzida e coloque-se em um saco, onde era colocado uma etiqueta com a data, a hora e o número de coleta, ou seja, se está era a primeira peça separada, a segunda e assim por diante, do lote que está sendo produzido.

Após as peças terem sido todas separadas elas foram pesadas e anotadas para posteriormente colocar os dados no software para que seja analisado se o lote está dentro dos limites.

### 6.2.3 Engrenagem

A engrenagem é um elemento mecânico, composto por dentes que se ligam a outras engrenagens ou por correntes. As engrenagens podem ser simples ou elas podem ser compostas de um cubo que é soldado no seu centro. As engrenagem, quando ligadas uma as outras, funcionam sempre aos pares, com os dentes de uma se encaixando entre os dentes da outra.

A engrenagem escolhida para a análise é utilizada nas colheitadeiras da linha New Holland e Massey Ferguson. Na figura abaixo apresenta o produto analisado:



**Figura 6: Engrenagem**

Fonte: Autor

Novamente, como já foi realizado para a polia e para o eixo, a cada 15 minutos de produção foi pedido ao operador que seleciona-se uma peça produzida e coloca-se em um saco, onde era colocado uma etiqueta com a data, a hora e o número de coleta, ou seja, se está era a primeira peça separada, a segunda e assim por diante, do lote que esta sendo produzido.

#### 6.2.4 Porca

A porca são elementos de maquinas e sempre estão associados a parafusos ou fusos. A engrenagem escolhida para a analise é utilizada nas colheitadeiras da linha New Holland. Na figura abaixo apresenta o produto analisado:



**Figura 7: Porca**

Fonte: Autor

Novamente, como já foi realizado para os produtos anteriores, a cada 15 minutos de produção foi pedido ao operador que seleciona-se uma peça produzida e coloca-se em um saco, onde era colocado uma etiqueta com a data, a hora e o número de coleta, ou seja, se está era a primeira peça separada, a segunda e assim por diante, do lote que esta sendo produzido.

Após as peças terem sido todas separadas elas foram pesadas e anotadas para posteriormente colocar os dados no software para que seja analisado se o lote esta dentro dos limites.

## 7 RESULTADOS

### 7.1 Polia

Os dados obtidos para a polia é apresentado na tabela 1, onde é apresentado o dia da coleta e os pesos obtidos nas peças separadas pelo operador:

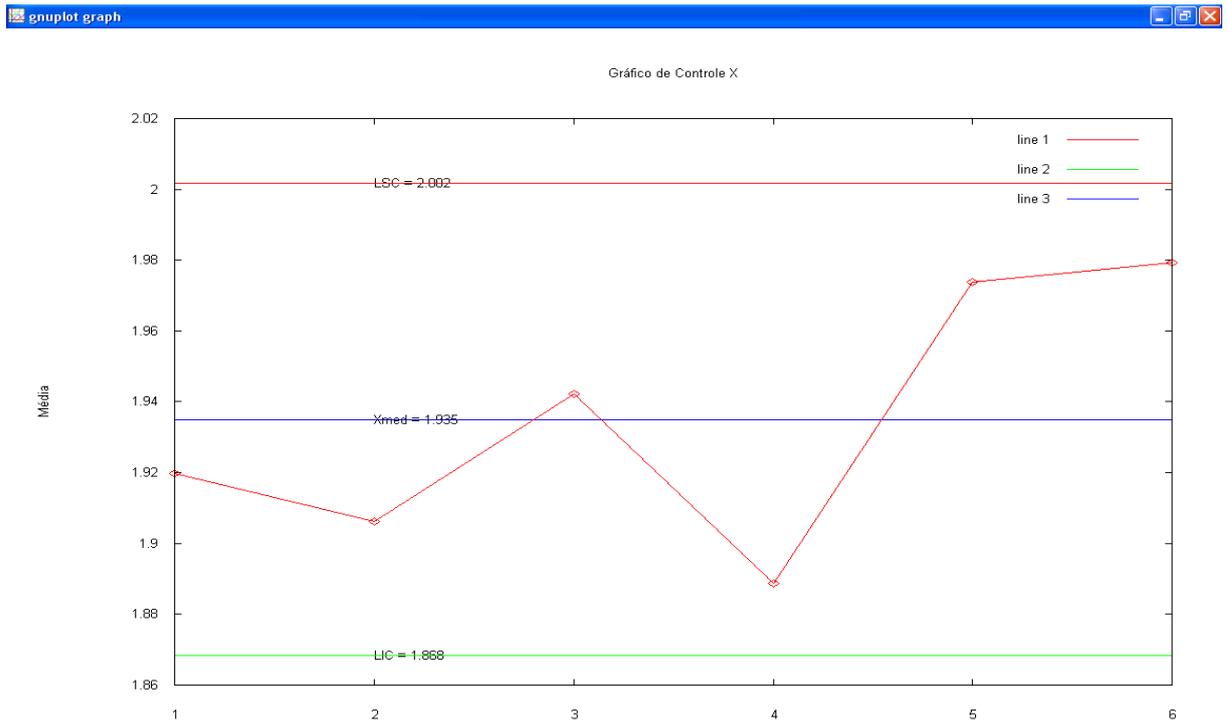
**Tabela 1: Dados coletados para a polia**

<b>DIA</b>	<b>PESOS (Kg)</b>						
01/06/07	1,949	1,978	1,870	1,882	1,959	2,001	1,800
04/06/07	1,940	1,943	1,940	2,010	1,800	1,810	1,900
11/06/07	1,978	1,880	1,943	2,001	1,899	1,901	1,993
18/06/07	1,977	1,877	1,800	1,889	1,880	1,899	1,900
20/06/07	2,000	1,955	2,001	1,988	1,877	2,001	1,995
21/06/07	1,890	1,999	2,003	1,955	2,000	2,010	1,998

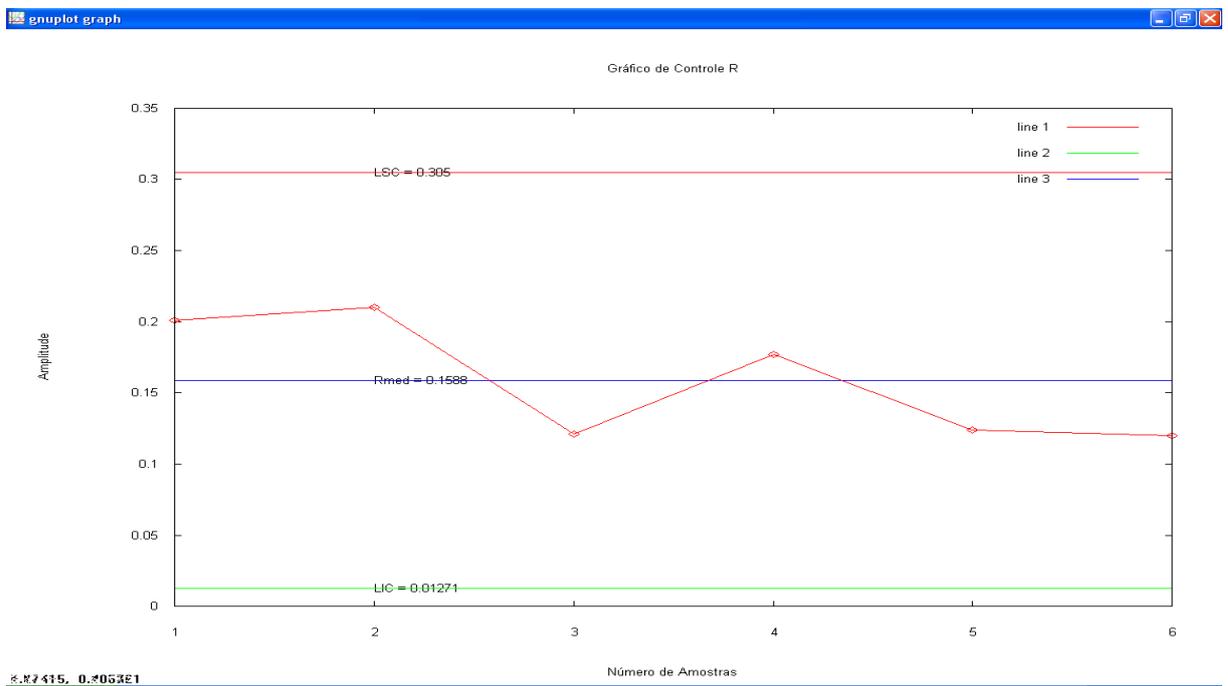
Após ter anotados todos os dados, eles foram colocados no software para que seja analisado os gráficos que são apresentados pelo software. O software apresenta gráficos de X e R onde é possível ver os valores LIC, LCS e a média para os dados coletados.

Com isso foi possível ver que para os dados coletados para a polia o LSC do gráfico de X é 2,0017, o LIC é 1,8683 e o valor médio para os dados é 1,9350, onde foi possível verificar que os dados coletados estão dentro do padrão.

Para os dados coletados, os gráficos de R para a polia, foi possível verificar que o LSC é 0,30496, o LIC é 0,012707 e o valor médio para os dados é 0,15883, o que foi constatado que as peças produzidas estão dentro do padrão. Nas figuras 5 e 6 são apresentados os gráficos de controle X e R para o eixo.



**Figura 8: Gráfico de controle X para a polia**



**Figura 9: Gráfico de controle R para a polia**

## 7.2 Eixo

Os dados obtidos para o eixo são apresentados na tabela 2, onde é apresentado o dia da coleta e os pesos obtidos nas peças separadas pelo operador:

**Tabela 2: Dados coletados para o eixo**

<b>DIA</b>	<b>PESOS (Kg)</b>						
01/06/07	3,000	3,385	3,152	3,200	3,698	3,144	3,699
06/06/07	3,100	3,555	3,222	3,265	3,660	3,156	3,666
13/06/07	2,350	3,651	3,265	3,659	3,222	3,650	3,510
14/06/07	3,100	3,648	3,698	3,297	3,654	3,200	3,266
20/06/07	3,250	3,698	3,654	3,249	3,215	3,100	3,159
28/06/07	3,500	3,698	3,666	3,269	3,600	3,250	3,888

Após ter anotados todos os dados, eles foram colocados no software para que seja analisado os gráficos que são apresentados pelo software. O software apresenta gráficos de X e R onde é possível ver os valores LIC, LCS e a média para os dados coletados.

Com isso foi possível ver que para os dados coletados para o eixo o LSC do gráfico de X é 3,6959, o LIC é 3,0788 e o valor médio para os dados é 3,3873, onde foi possível verificar que os dados coletados estão dentro do padrão.

Para os dados coletados, os gráficos de R para o eixo, foi possível verificar que o LSC é 1,4106, o LIC é 0,058773 e o valor médio para os dados é 0,73467, o que foi constatado que as peças produzidas estão dentro do padrão. Nas figuras 8 e 9 são apresentados os gráficos de controle para o X e R do eixo

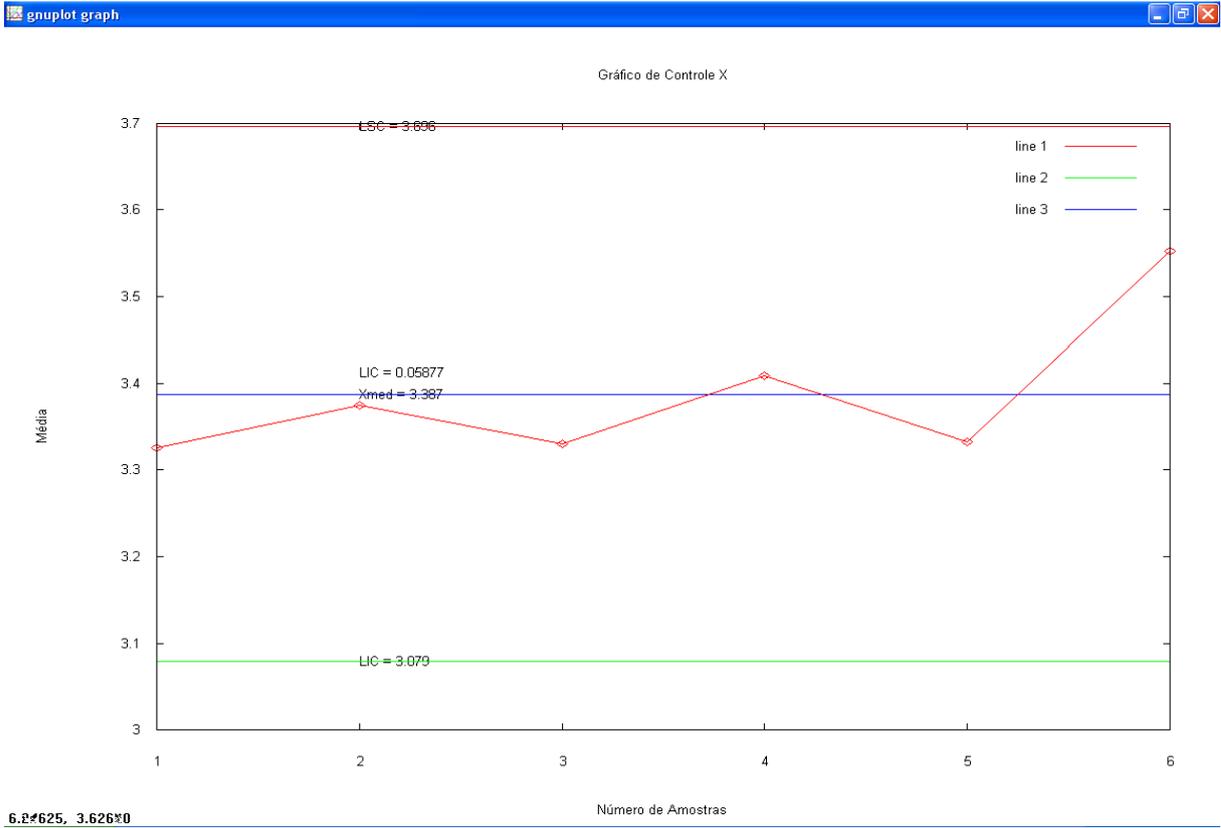


Figura 10: Gráfico de controle X para o eixo

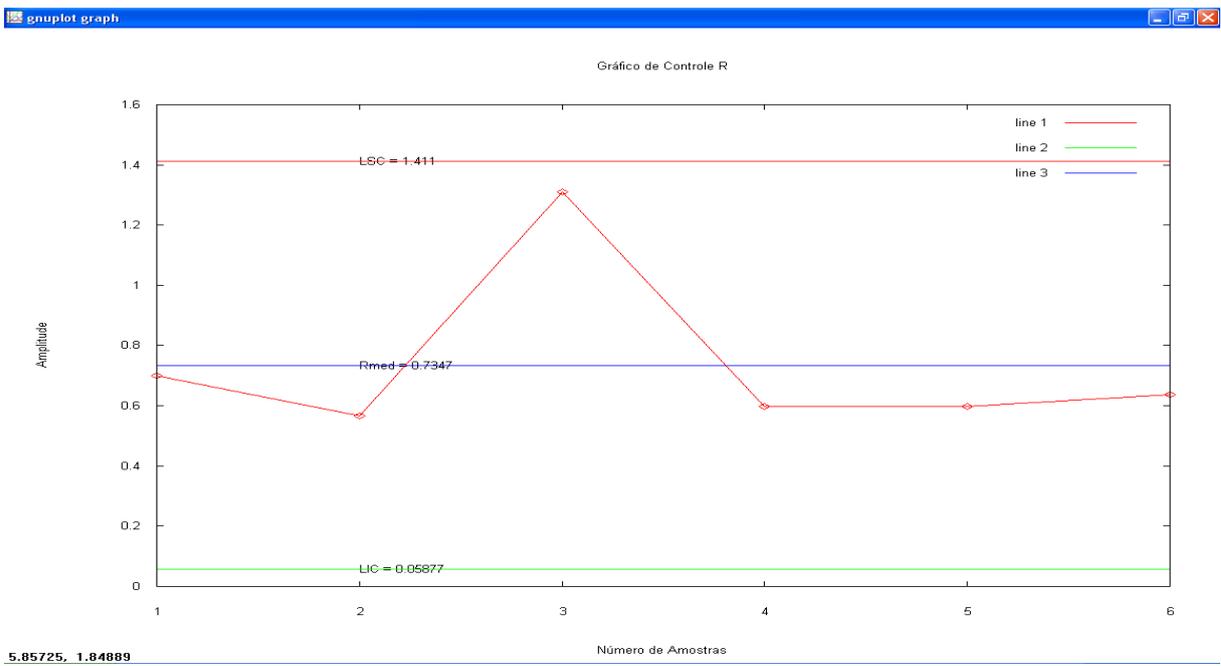


Figura 11: Gráfico de controle R para o eixo

### 7.3 Engrenagem

Os dados obtidos para a engrenagem são apresentados na tabela 3, onde é apresentado o dia da coleta e os pesos obtidos nas peças separadas pelo operador:

**Tabela 3: Dados coletados para a engrenagem**

<b>DIA</b>	<b>PESOS (Kg)</b>						
05/06/07	5,352	4,899	4,900	4,898	5,001	5,120	4,876
06/06/07	4,898	5,322	4,865	5,322	5,006	5,201	5,876
11/06/07	5,215	4,698	5,000	4,789	5,320	4,988	4,986
12/06/07	4,987	5,026	5,001	4,980	4,901	4,787	4,980
19/06/07	4,698	5,012	4,700	4,900	4,960	5,369	5,123
28/06/07	5,100	4,789	4,878	4,981	4,788	4,970	4,999

Após ter anotados todos os dados, eles foram colocados no software para que seja analisado os gráficos que são apresentados pelo software. O software apresenta gráficos de X e R onde é possível ver os valores LIC, LCS e a média para os dados coletados.

Com isso foi possível ver que para os dados coletados para a engrenagem, o LSC do gráfico de controle X é 5,2441, o LIC é 4,7778 e o valor médio para os dados é 5,0110, onde foi possível verificar que os dados coletados estão dentro do padrão.

Para os dados coletados, os gráficos de controle R para a engrenagem, foi possível verificar que o LSC é 1,0659, o LIC é 0,044413 e o valor médio para os dados é 0,55517, o que foi constatado que as peças produzidas estão dentro do padrão. Nas figuras 11 e 12 são apresentados os gráficos de controle para o X e R para a engrenagem.

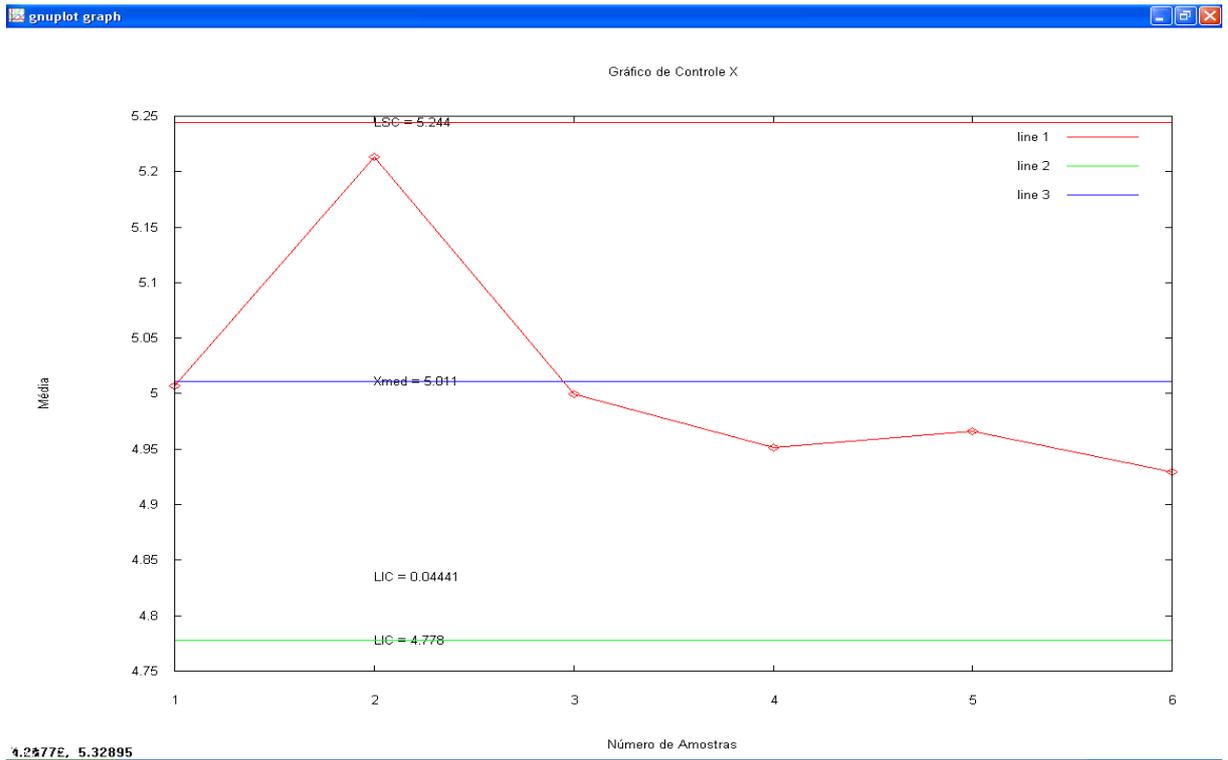


Figura 12: Gráfico de controle X para a engrenagem

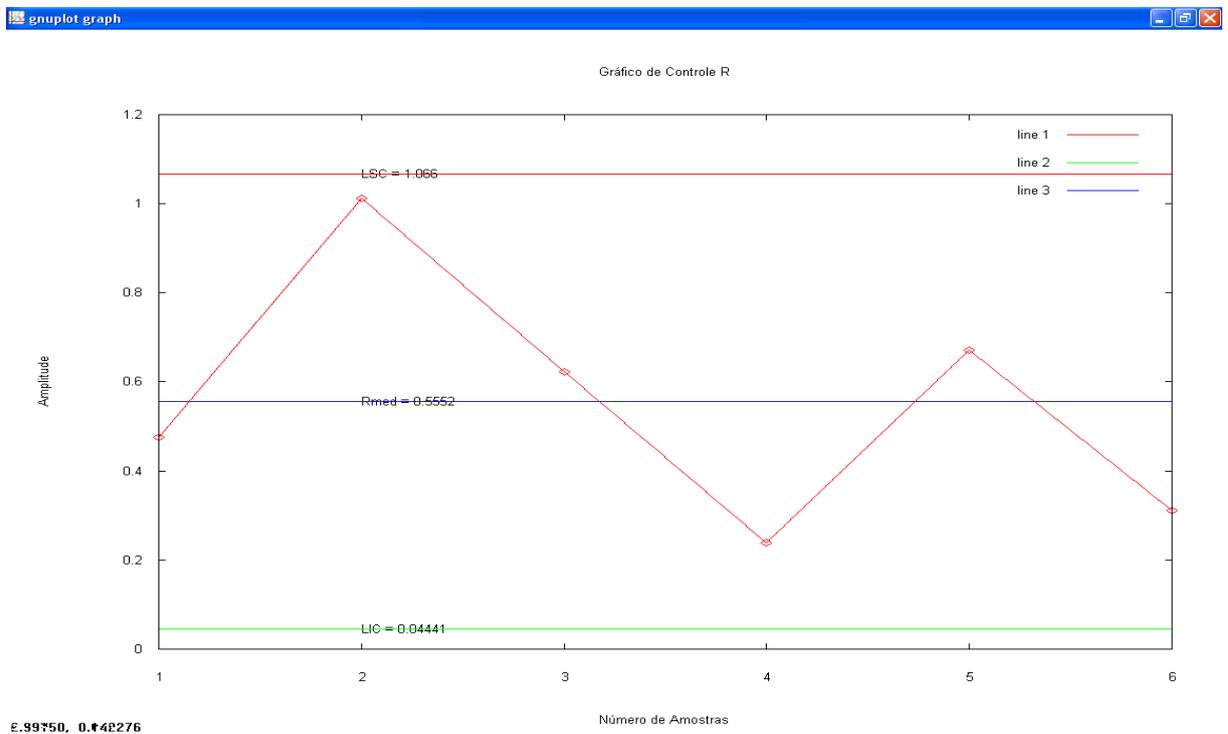


Figura 13: Gráfico de controle R para a engrenagem

## 7.4 Porca

Os dados obtidos para a porca são apresentados na tabela 4, onde é apresentado o dia da coleta e os pesos obtidos nas peças separadas pelo operador:

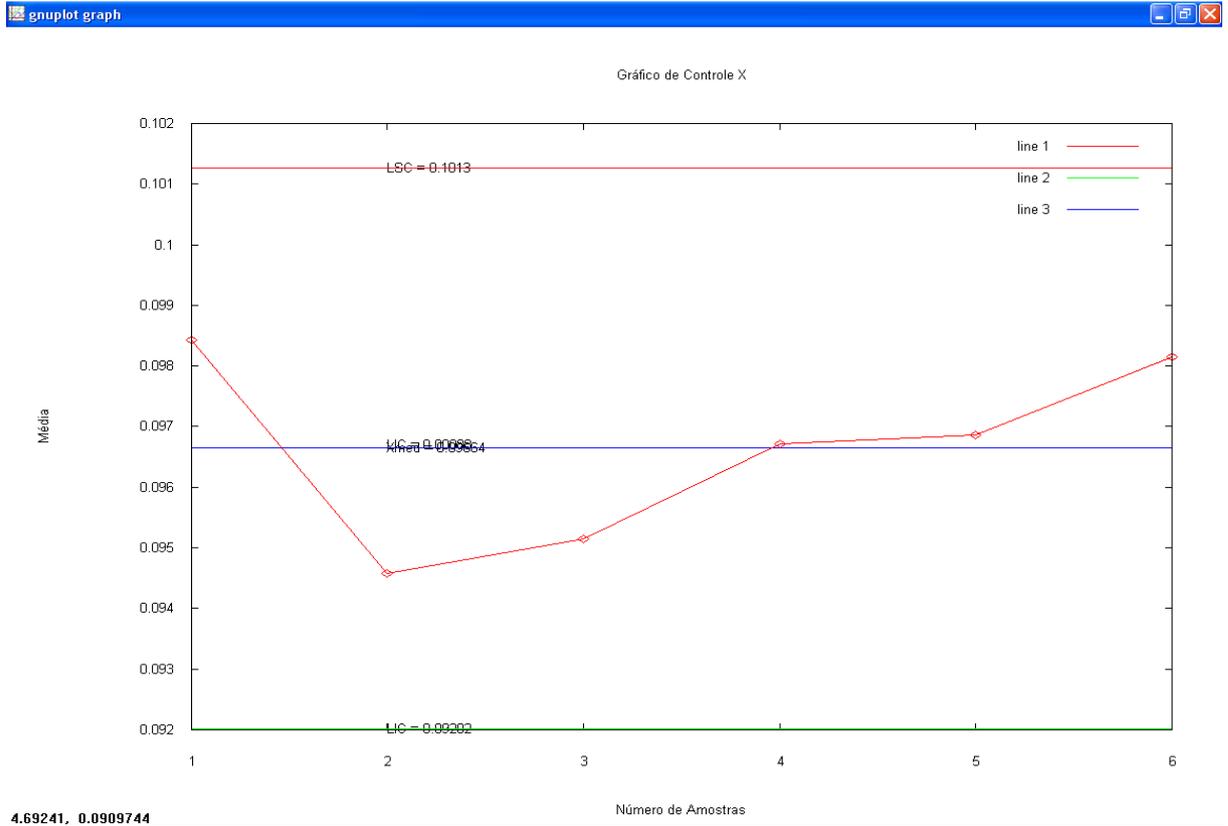
**Tabela 4: Dados coletados para a porca**

<b>DIA</b>	<b>PESOS (Kg)</b>						
05/06/07	0,095	0,110	0,095	0,101	0,094	0,098	0,096
06/06/07	0,094	0,095	0,094	0,096	0,091	0,094	0,098
11/06/07	0,095	0,089	0,098	0,094	0,095	0,096	0,099
12/06/07	0,095	0,095	0,099	0,094	0,094	0,098	0,102
19/06/07	0,094	0,085	0,096	0,101	0,100	0,099	0,103
28/06/07	0,100	0,101	0,097	0,097	0,099	0,094	0,099

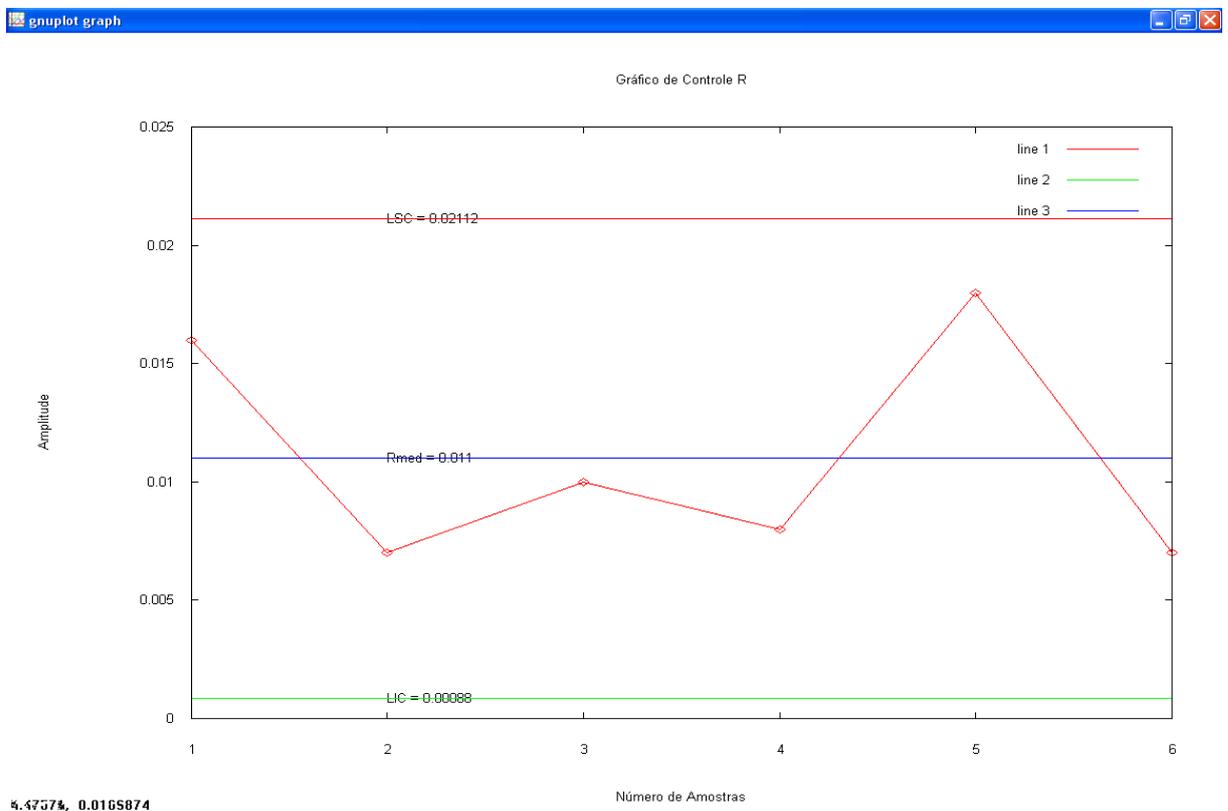
Após ter anotados todos os dados, eles foram colocados no software para que seja analisado os gráficos que são apresentados pelo software. O software apresenta gráficos de controle X e R onde é possível ver os valores LIC, LCS e a média para os dados coletados.

Com isso foi possível ver que para os dados coletados para a porca, o LSC do gráfico de controle X é 0,10126, o LIC é 0,092023 e o valor médio para os dados é 0,096643, onde foi possível verificar que os dados coletados estão dentro do padrão.

Para os dados coletados, os gráficos de controle R para a porca, foi possível verificar que o LSC é 0,021120, o LIC é 0,00088000 e o valor médio para os dados é 0,011000, o que foi constatado que as peças produzidas estão dentro do padrão. Nas figuras 14 e 15 são apresentados os gráficos de controle para o X e R para a porca



**Figura 14: Gráfico de controle X para a porca**



**Figura 15: Gráfico de controle R para a porca**

## 8 CONCLUSÃO

Para a realização do objetivo proposto por este trabalho, ele foi dividido em duas partes.

Na primeira parte foi apresentado a metodologia da aplicação do controle de processo estatístico e uma apresentação do software GNU Octave, mostrando a sua funcionalidade e os recursos que o software apresenta.

Na segunda parte foi apresentado os dados coletados e apresentados os gráficos obtidos pelo software, onde ele trazia o LIC e LSC de cada peça.

O software GNU Octave, é um software fácil de ser utilizado e muito prático, é uma excelente ferramenta para ser utilizada pelas empresas que querem aplicar os gráficos de CEP. A grande vantagem deste software é que caso a empresa não tenha ainda definido o LSC e LIC, (como é o caso deste estudo de caso, onde a empresa ainda não tinha definido o LSC e o LIC para as peças apresentadas neste estudo de caso) ele acaba mostrando para o usuário, através dos dados coletados, qual será o LIC e o LSC. Isto é de fundamental para uma empresa que esta sempre buscando a qualidade, poder saber qual seria o LIC e LSC para que possa tomar as medidas necessárias casos algum lote de produção ultrapasse estes limites.

Administrar a qualidade é importante para uma empresa, pois uma empresa que não busca qualidade fica para trás no mercado competitivo e tem custos adicionais que poderiam ser evitado se for adotado uma política de qualidade.

## REFERÊNCIAS

BETERSFIELD, D. H. (1986) – Quality Control. Prentice Hall. New Jersey.

COSTA, EPPRECHT, CARPINETTI. Controle Estatístico de Qualidade, São Paulo: ATLAS, 2003

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

EATON, J. W. GNU Octave - **A high-level interactive language for numerical computation**. Disponível em: <http://www.octave.org>. Acesso em : Dezembro de 1997.

Free Software Foundation. GNU General Public License. Version 2. Disponível em: <http://www.fsf.org/licenses/licenses/index.html>. Acesso em: Junho de 1991.

GRAÇA, J. C. (1996) – O CEP acaba com as variações? Revista Controle da Qualidade. Editora Banas. São Paulo, pg. 84-85.

GRANT, E. L, LEAVENWORTH (1972) – Statistical Quality Control. Mc Graw – Hill. New York.

IRWIN, R. D. (1965) – Quality Control and Industrial Statistics. Library of Congress. Homewood, Illinois.

LEVINE, David M.; BERENSON, Mark L.; STEPHAN, David. Estatística: teoria e aplicações usando Microsoft Excel em português. Rio de Janeiro: CTC, 2000.

MICHEL, R.; Fogliatto, F. S. Projeto Econômico de Cartas Adaptativas para Monitoramento de Processos, **Gestão e Produção**, v.9, nº.1, p.17-31, abril 2002.

MSA – Measurement Systems Analysis (2002) – Daimler Chrysler Corporation, Ford Motor Company and General Motors Corporation, 3.ed, (parte integrante da QS 9000).

MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros, Rio de Janeiro: LTC, 2003

OWEN, M. (1989) – Statistic Process Control and Continuous Improvement. IFS Publication. USA.

PALADINI, E. P. (1995) – Gestão da Qualidade no Processo. Editora Atlas. São Paulo.

RIBEIRO, J. L. & CATEN, C. T. (1998) – Controle Estatístico do Processo. Apostila do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Editora da UFRGS. Porto Alegre.

REIS, Marcelo Menezes. Um modelo para o ensino do Controle Estatístico da Qualidade. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

SCHISSATTI, M.L. (1998) – Uma metodologia de implantação de cartas de Shewarth para o controle de processos. Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). UFSC.

SLACK et al. (1997) – Administração da Produção. Editora Atlas. São Paulo.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. 7ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1999.

WILLIAMS, T. and et al. Gnuplot FAQ. Disponível em: <http://www.ucc.ie/gnuplot/>. Acesso em: dezembro de 2001.

**Universidade Estadual de Maringá  
Departamento de Informática  
Curso de Engenharia de Produção  
Av. Colombo 5790, Maringá-PR  
CEP 87020-900  
Tel: (044) 3261-4324 / 4219 Fax: (044) 3261-5874**