

**LETICIA PUCCI**

**IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO  
EM UMA FERRAMENTA DE ESTAMPAGEM PROGRESSIVA  
DE CORTE, DOBRA E REPUXO**

Projeto Técnico apresentado à  
Universidade Federal do Paraná  
Para obtenção do título de  
Especialista em Gestão da  
Qualidade

Orientador: Prof. Walter Nikkel, M.Sc.

**Curitiba**

**2009**

### Ficha Catalográfica

PUCCI, Leticia.

Implantação do controle estatístico de processo em uma ferramenta de estampagem progressiva de corte, dobra e repuxo. Curitiba, UFPR, Curso de Pós-Graduação em Gestão da Qualidade, 2009.

xi, 47 p.

Projeto Técnico: Gestão da Qualidade

Orientador: Prof. Walter Nikkel, M.Sc.

1. Ferramenta de Estampagem 2. Controle Estatístico de Processo 3. Características críticas

I. Universidade Federal do Paraná

II. Título

## *Agradecimentos*

Ao Professor Walter Nikkel, pela orientação e incentivo no desenvolvimento deste trabalho.

Aos demais professores que tanto contribuíram através do compartilhamento de seus conhecimentos, sendo de grande valia para a complementação da formação acadêmica.

À Whirlpool S.A – Unidade Compressores Embraco, representada pelos Srs. Luiz Carlos Rocha e Edi Carlos Souza, que me incentivaram na realização deste curso e possibilitaram a aplicação deste trabalho na Fábrica de Componentes Estampados, afim de validar os conhecimentos adquiridos.

Aos colegas do curso, onde juntos vencemos algumas de nossas limitações; superamos as dificuldades; compartilhamos momentos de alegria e nos tornamos pessoas melhores.

Em especial às amigas Fantine Duarte, Monica Misa Imagawa, Gisele Silva e Patrícia Sodré, e ao caro colega Juarez Serenato, que através da nossa união e cumplicidade, conseguimos vencer juntos mais uma etapa em nossas vidas.

Aos meus pais Vitor Antonio Pucci e Salete Zenite Dalle Laste Pucci, que mesmo distantes, incentivaram-me para a realização deste curso. Pela minha vida e por todos os momentos que conseguimos estar juntos.

Aos meus irmãos Marcelo e Matheus Pucci, que juntamente com meus pais, foram incentivadores.

A Deus.

## Resumo

O presente projeto tem por finalidade implantar o controle estatístico de processo em uma ferramenta de estampagem de corte, dobra e repuxo e foi elaborado em parceria com a empresa Whirlpool S.A. – Unidade Compressores Embraco.

O controle permanente dos processos é uma condição básica para a manutenção da qualidade dos bens de consumo e de serviços. As técnicas estatísticas aplicadas corretamente no monitoramento dos processos implicam em custos de prevenção que se pagam facilmente, pois qualidade agrega valor.

O controle estatístico de processo utiliza-se de várias ferramentas da qualidade para sua abordagem, o que necessita um bom embasamento teórico e prático dos executantes, para a correta aplicação e avaliação do tema tenham sua eficácia comprovada.

Atualmente, com a disseminação e aplicação ampla da Filosofia *Lean*, cuja base é o modelo produtivo da Toyota, o controle estatístico de processo se torna fundamental, onde o “não fazer defeitos e não passar defeitos aos processos seguintes” é uma de suas premissas. Fazer certo da primeira vez melhora a qualidade, a produtividade, aumenta a satisfação dos clientes, reduz o tempo de ciclo, reduz os custos e aumenta a lucratividade.

O processo de estampagem é empregado na fabricação de componentes metálicos, utilizados na montagem dos compressores da empresa. Neste projeto, cada ferramenta foi considerada uma máquina, pois são elas que mais atuam nas características críticas do produto e em menores proporções as prensas no qual estas são utilizadas.

## **Abstract**

The proposal of this project is to implement the statistical process control in a stamping tool and it was developed in partnership with Whirlpool S.A. Company – Embraco Compressors Unit.

The permanent control of the process is a basic condition to the maintenance of the quality of products and services. The statistical techniques when are correctly used in order to guarantee the process represent costs of prevention that can pay themselves so easy because quality aggregates value.

The statistical process control utilizes some of quality tools, so it's necessary that the executor has good knowledges of these subjects in order to have the best application and evaluation of them and confirm it efficacy.

Nowadays with the application and the wide dissemination of Lean philosophy, based on the Toyota Manufacturing Way, the statistical process control is fundamental when it mention, "not do defects and not send defects to the process ahead ", this is one of their premises. Do all right in the first time is better for quality, productivity, improve the customers satisfaction, decrease the time of production, decrease the costs and improve the gains.

The stamping process is used in the production of metallic components. These components are used in the assembly line of compressors at the company. In this project, each tool was considered a machine because they give the critical characteristics in the product and in a smaller way the press where the tools are used give too.

## Sumário

Lista de Figuras .....	x
Lista de Tabelas .....	xi
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 Objetivo Geral .....	14
1.2 Objetivos Específicos .....	14
1.3 Justificativa .....	14
1.4 Metodologia .....	14
<b>2 REVISÃO TEÓRICA.....</b>	<b>16</b>
2.1 Histograma.....	16
2.1.1 Como construir um histograma .....	16
2.2 Medidas de Localização e Variabilidade .....	19
2.2.1 Medidas de Localização .....	19
2.2.2 Medidas de Variabilidade .....	19
2.3 Distribuição Normal.....	20
2.3.1 Cálculo de Probabilidade da Distribuição Normal .....	21
2.3.2 A Distribuição Média Amostral e o Teorema Central do Limite .....	21
2.3.2.1 Teorema Central do Limite .....	22
2.4 Gráficos de Controle .....	22
2.4.1 Como Determinar os Limites de Controle.....	24
2.5 Limites de Controle e Limites de Especificação.....	26
2.6 Capacidade de Processos .....	27
2.6.1 Índice de Capacidade.....	27
2.6.1.1 Índice Cp .....	27
2.6.1.2 Índice de Cpk .....	27
2.7 Pré-Controle.....	28

<b>3 SITUAÇÃO ATUAL</b> .....	30
3.1 Diagnóstico da Situação .....	30
<b>4 PROPOSTA</b> .....	34
4.1 Sistema Proposto .....	34
4.2 Plano de Implantação .....	34
4.3 Recursos .....	36
4.4 Resultados Esperados .....	36
4.5 Riscos ou Problemas Esperados e Medidas Preventivas/Corretivas .....	36
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	38
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	39
<b>ANEXOS</b> .....	40

## Lista de figuras

Figura 2.1: Exemplo de gráfico de controle.....	23
Figura 2.2: Limites de controle x limites de especificação .....	26
Figura 2.3: Limites de pré-controle .....	29
Figura 3.1: Processos da unidade de Componentes Estampados .....	31



## Lista de tabelas

Tabela 2.1: Guia para a determinação de intervalos .....	17
Tabela 2.2: Cálculo para determinar os limites em cada intervalo.....	17
Tabela 2.3: Distribuição de frequências.....	18

## 1 INTRODUÇÃO

A economia atual força as empresas a buscarem melhorias de forma contínua em produtividade e na qualidade de seus produtos a fim de se manterem no mercado. Cada vez mais as empresas estão mobilizadas em controlar de forma efetiva os seus processos para que sucata, reprocesso ou qualquer outra forma de desperdício sejam minimizados.

O controle permanente dos processos é uma condição básica para a manutenção da qualidade dos bens de consumo e de serviços. As técnicas estatísticas aplicadas corretamente no monitoramento dos processos implicam em custos de prevenção que se pagam facilmente, pois qualidade agrega valor.

O controle estatístico de processo teve início formalmente com Walter A Shewhart na *Bell Telephone Laboratories*, em meados de 1924, com a aplicação industrial de gráficos de controle. Shewhart propôs o uso do gráfico de controle para análise de dados resultantes de inspeção, fazendo com que a importância dada à inspeção começasse a ser substituída pelo estudo e prevenção dos problemas relacionados à qualidade, de modo a impedir que os produtos defeituosos fossem produzidos.

A Segunda Guerra Mundial foi a grande propulsora da aplicação do controle estatístico de processo em um número maior de indústrias norte-americanas. A sua utilização tornou possível a produção de suprimentos militares de boa qualidade, em grande quantidade e de forma mais econômica, o que atendia as exigências no período da guerra. Os procedimentos utilizados para o controle da qualidade na época foram publicados na forma de normas, conhecidas como *American War Standards Z1. 1 – Z1. 3*.

Em meados de 1935, os trabalhos de *E. S. Pearson* foram utilizados como base na Inglaterra para a elaboração dos Padrões Normativos Britânicos (*British Standard BS 600*).

Antes da Segunda Guerra Mundial, o Japão já conhecia os Padrões Normativos Britânicos, mas seus produtos competiam no mercado internacional em preço, não em qualidade. Após a derrota do Japão na Segunda Guerra Mundial, as forças

americanas de ocupação chegaram ao país e descobriram que o sistema de telefonia japonês apresentava muitas falhas, o que era um empecilho para a administração militar americana. Em maio de 1946, os americanos determinaram que as indústrias de telecomunicações japonesas implantassem um programa eficiente de controle da qualidade, com o objetivo de eliminar os defeitos e a falta de uniformidade na qualidade dos equipamentos produzidos.

Em 1946 ainda, foi criada a União dos Cientistas e Engenheiros Japoneses. Este grupo tinha como objetivos pesquisar e disseminar os conhecimentos sobre controle da qualidade, para que as indústrias japonesas pudessem melhorar a qualidade de seus produtos e aumentar as exportações.

Em 1950, o grupo convidou William Edwards Deming, dos Estados Unidos, para proferir um seminário sobre controle da qualidade para administradores e engenheiros. O seminário abordara os seguintes tópicos:

- Utilização do Ciclo PDCA para a melhoria da qualidade;
- Importância do entendimento da variabilidade presente em todos os processos produtivos de bens e serviços;
- Utilização de gráficos de controle para o gerenciamento dos processos.

Em 1954, J. M. Juran também visitou o Japão e enfatizou aos gerentes a responsabilidade pela obtenção da qualidade utilizando os conceitos estatísticos.

Na década de 1980, o resultado do trabalho de Deming no Japão tornou-se conhecido mundialmente devido os fatores que permitiram a evolução das indústrias japonesas.

Atualmente, com a disseminação e aplicação ampla da Filosofia *Lean*, cuja base é o modelo produtivo da Toyota, o controle estatístico de processo se torna fundamental, onde o “não fazer defeitos e não passar defeitos aos processos seguintes” é uma de suas premissas. Fazer certo da primeira vez melhora a qualidade, a produtividade, aumenta a satisfação dos clientes, reduz o tempo de ciclo, reduz os custos e aumenta a lucratividade.

## **1.1 Objetivo Geral**

Implantar o controle estatístico de processo em uma ferramenta de estampagem progressiva de corte, dobra e repuxo.

## **1.2 Objetivos Específicos**

- Implementar, avaliar, manter e melhorar a estabilidade do processo de estampagem para as cotas críticas para a qualidade;
- Avaliar a adequação dos dispositivos de controle;
- Diminuir o número de reclamações dos clientes;
- Diminuir o número de anomalias internas;
- Diminuir a quantidade de sucata.

## **1.3 Justificativas**

Em março de 2009, um grupo de pessoas da Whirlpool S.A – Unidade Compressores Embraco se reuniu durante três dias para avaliar a situação atual em algumas frentes de trabalho e dentre elas estava a Qualidade. Neste encontro foram estabelecidas metas de curto, médio e longo prazo para a Embraco e o controle dos processos foi um dos vários itens a serem desenvolvidos na empresa.

Departamentos produtivos que não realizavam o monitoramento dos seus processos através do controle estatístico viram nascer esta oportunidade de desenvolvimento. Desta forma, a implementação do controle estatístico de processo em uma única ferramenta de estampagem progressiva de corte, dobra e repuxo será o projeto piloto da célula de Prensas Leves, na fábrica de Componentes Estampados, para uma posterior extensão às demais ferramentas e processos desta célula.

## **1.4 Metodologia**

Este projeto teve como base informações obtidas nos departamentos de Garantia da Qualidade da empresa, nas fábricas de compressores (clientes internos), registros internos de sucata, reprocesso e anomalias dos processos.

A implementação do projeto seguiu o padrão de aplicação das ferramentas já utilizadas nos demais departamentos da empresa, salvo as suas particularidades, onde uma ferramenta de estampagem foi considerada uma máquina. A avaliação da prensa no qual esta ferramenta é utilizada não está no escopo deste projeto, mas deve ser considerada no momento da avaliação global do controle do processo, pois a mesma pode interferir na qualidade do produto.

## **2 REVISÃO TEÓRICA**

No presente projeto, a revisão teórica dar-se-á apenas às ferramentas que terão correlação direta com a metodologia que se julgou ser a mais adequada para a implantação neste caso específico. As demais técnicas não serão citadas.

### **2.1 Histograma**

O histograma é uma ferramenta importante para a avaliação do processo. Nele as informações contidas em um conjunto de dados estão dispostas de modo que seja possível visualizar a forma desta distribuição, a localização do valor central e como os valores estão dispersos em torno deste valor central.

Com base no trabalho de Kume, H. (1993) e Ishikawa, K. (1989), os histogramas podem se apresentar nas seguintes formas:

1. Simétrico ou em forma de sino;
2. Assimétrico;
3. Despenhadeiro;
4. Ilhas Isoladas;
5. Bimodal;
6. Achatado (platô).

Detalhes referentes a cada comportamento de histograma não serão apresentados neste trabalho, mas o Controle Estatístico de Processo tem sua base em histogramas de forma simétrica, com distribuição normal, dada por uma curva Gaussiana.

A comparação dos histogramas com os limites de especificação estabelecidos para uma característica da qualidade de interesse nos permitem avaliar se um processo está sob controle estatístico, se ele é capaz de atender as especificações, se a média da distribuição das medidas está próxima ao centro da faixa de especificação (valor nominal) e se é necessário adotar alguma medida para reduzir a variabilidade do processo.

#### **2.1.1 Como Construir um Histograma**

Para a construção de histogramas, alguns passos devem ser seguidos. O presente projeto utilizará apenas a avaliação da distribuição de variáveis contínuas. Segue:

1. Coletar  $n$  dados referentes à variável cuja distribuição será analisada – é aconselhável que  $n$  seja superior a 50 para que haja um padrão representativo da distribuição;
2. Escolher o número de intervalos de classes ( $k$ ) – a tabela 2.1 abaixo pode ser utilizada como referência;

Tabela 2.1: Guia para a determinação do Número de Intervalos ( $k$ ) de Histogramas, segundo Ishikawa, K. (1982)

Tamanho da amostra ( $n$ )	Número de intervalos ( $k$ )
< 50	5 a 7
50 a 100	6 a 10
100 a 250	7 a 12
> 250	10 a 20

3. Identificar o menor e o maior valor da amostra (**MIN** e **MÁX**);
4. Calcular a amplitude total dos dados ( $R$ ), onde:

$$R = \text{MÁX} - \text{MIN};$$

5. Calcular o comprimento de cada intervalo ( $h$ ), também denominado como amplitude de classe:

$$h = R / k$$

6. Caso o valor de  $h$  não dê um número inteiro, arredondar de forma a se obter um número conveniente, que deve ser um número múltiplo inteiro da unidade de medida dos dados da amostra;
7. Calcular os limites de cada intervalo, conforme Tabela 2.2 abaixo:

Tabela 2.2 – Cálculo para determinar os limites inferiores e superiores de cada intervalo.

	Limite Inferior (LI)	Limite Superior (LS)
Primeiro Intervalo	$LI_1 = \text{MIN} - h/2$	$LS_1 = LI_1 + h$
Segundo Intervalo	$LI_2 = LS_1$	$LS_2 = LI_2 + h$

Terceiro Intervalo	$LI_3 = LS_2$	$LS_2 = LI_3 + h$
$i$ -ésimo Intervalo	$LI_i = LS_{i-1}$	$LS_i = LI_i + h$

O  $i$ -ésimo intervalo deverá conter o maior valor da amostra (MÁX) entre os seus limites. O número final de intervalos será igual a  $k + 1$ .

8. Construir uma tabela de distribuição de frequências, com as seguintes informações:

Tabela 2.3. Distribuição de frequências.

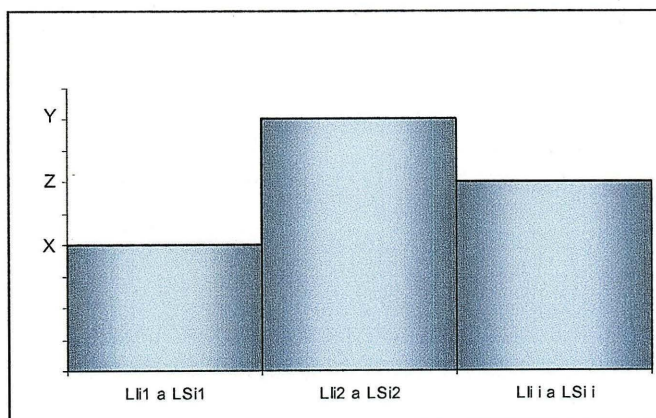
Intervalo $i$	Limites dos Intervalos	Ponto Médio ( $x_i$ ) $x_i = (LI_i + LS_i) / 2$	Tabulação (contagem de dados pertencentes a cada intervalo)	Frequência ( $f_i$ ) (número de observações do intervalo)	Frequência Relativa ( $f_i / n$ )
$i 1$	$LI_{i1}$ a $LS_{i1}$	$(LI_{i1} + LS_{i1}) / 2$	X	X	$X / n$
$i 2$	$LI_{i2}$ a $LS_{i2}$	$(LI_{i2} + LS_{i2}) / 2$	Y	Y	$Y / n$
$i i$	$LI_{ii}$ a $LS_{ii}$	$(LI_{ii} + LS_{ii}) / 2$	Z	Z	$Z / n$
Total				$X + Y + Z =$ tamanho total da amostra ( $n$ )	$X+Y+Z = 1$

9. Desenhar o histograma:

Eixo horizontal – Limites dos Intervalos;

Eixo vertical – Frequência dos intervalos;

Cada intervalo é representado por um retângulo, com base igual ao comprimento ( $h$ ) e a altura igual à frequência ( $f_i$ ) do intervalo, conforme modelo abaixo





10. Registrar informações pertinentes no gráfico, como Título, Período da coleta dos dados e o Tamanho da amostra.

## 2.2 Medidas de Localização e Variabilidade

Tão importante quanto o visualizar a forma distribuição de uma população, é conhecer o centro da distribuição destes dados e a sua variabilidade. Para isto, tem-se:

### 2.2.1 Medidas de Localização

Média ( $\bar{x}$ ):

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_i}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Se os dados estiverem agrupados em uma tabela de distribuição de frequência com  $k$  intervalos, a média é dada por:

$$\bar{x} = \frac{x_1 f_1 + x_2 f_2 + \dots + x_k f_k}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k x_i f_i$$

Mediana ( $\tilde{x}$ ): Se  $n$  for um número ímpar, considera-se a mediana o valor central quando os dados estão dispostos em ordem crescente.

Se  $n$  for um número par, a mediana é determinada através do cálculo da média aritmética simples dos dois valores centrais quando os dados estão dispostos em ordem crescente.

### 2.2.2 Medidas de Variabilidade

Desvio padrão ( $s$ )

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Como o desvio padrão está relacionado com a média, da mesma forma se os dados estiverem agrupados em uma tabela de distribuição de frequência com  $k$  intervalos, o desvio padrão será dado por:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 f_i}$$

Amplitude ( $R$ )

$R =$  maior valor da amostra – menor valor da amostra

Variância ( $s^2$ ): a variância é igual ao quadrado do desvio padrão.

### 2.3 Distribuição Normal

Segundo Werkema, 1998, “A distribuição normal é um modelo estatístico que fornece uma base teórica para o estudo do padrão de ocorrência dos elementos de várias populações de interesse”.

O histograma é uma representação da distribuição dos elementos de uma amostra extraída de uma população, enquanto a curva desenhada sobre o histograma representa a distribuição de todos os elementos que constituem a população, ou seja, ela representa a distribuição de probabilidade de uma população. A curva da distribuição normal pode ser expressa matematicamente por:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

Onde:

$\mu$  é a média da distribuição, representa o centro da distribuição normal e

$\sigma$  é o desvio padrão da distribuição, representa a dispersão da distribuição normal.

Se  $\mu$  e  $\sigma$  forem conhecidos, a distribuição normal está caracterizada. Na prática estes dois parâmetros geralmente são desconhecidos e devem ser substituídos por estimativas amostrais.

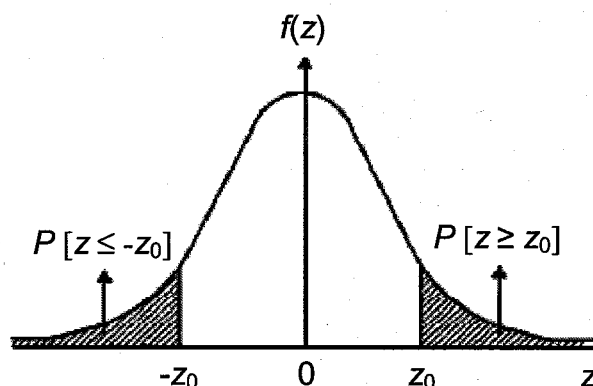
### 2.3.1 Cálculo de Probabilidades da Distribuição Normal

A distribuição normal depende de dois parâmetros ( $\mu$  e  $\sigma$ ). Para calcular as probabilidades associadas a uma variável  $x \sim N(\mu=0, \sigma=1)$  é necessário utilizar a variável normal reduzida  $z$ , definida por:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

A tabela da distribuição normal padronizada, presente no Anexo A fornece a probabilidade de  $z$  assumir valores especificados. A distribuição normal padronizada, devido a sua simetria, apresenta algumas propriedades, são elas:

- $P[z \leq 0] = 0,5$
- $P[z \leq -z_0] = 1 - P[z \leq z_0] = P[z \geq z_0]$ , conforme curva abaixo.



### 2.3.2 A distribuição da Média Amostral e o Teorema Central do Limite

A distribuição da média amostral  $\bar{x}$ , de uma amostra de tamanho  $n$  extraída de uma população que tem média  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$ , têm as seguintes características:

- Média =  $E(\bar{x}) = \mu$
- Variância =  $VAR(\bar{x}) = \frac{\sigma^2}{n}$
- Desvio padrão =  $DP(\bar{x}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

A distribuição da média amostral  $\bar{x}$ , de uma amostra de tamanho  $n$  extraída de uma população normal que tem média  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$ , é normal com média  $\mu$  e desvio padrão  $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ .

### 2.3.2.1 Teorema Central do Limite

A distribuição de média amostral  $\bar{x}$ , de uma amostra de tamanho  $n$  extraída de uma população Não-normal, com média  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$ , é aproximadamente normal com média  $\mu$  e desvio padrão  $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ . Isto significa que:

$$z = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad \text{É aproximadamente } N(0,1).$$

É usual aplicar o Teorema Central do Limite quando o tamanho da amostra  $n$  é superior a 30. Dependendo da forma da distribuição da população, amostras de tamanhos inferiores a 30 já são suficientes para garantir a validade do teorema. A aplicação do Teorema Central do Limite permite uma ampla utilização da distribuição normal nas aplicações com gráficos de controle, intervalos de confiança e testes de hipóteses.

## 2.4 Gráficos de Controle

Todos os processos apresentam variabilidade devido às variações sofridas pelos fatores que compõem o processo produtivo. O processo pode apresentar variações nas suas máquinas, matéria-prima, mão-de-obra, condições ambientais, métodos e meios de medição, também denominados de 6M's. No entanto, é fundamental que a variabilidade seja controlada para que os produtos possam ser fabricados dentro de suas especificações.

Existem dois tipos de causas para variação de um processo:

- Causas comuns ou aleatórias e
- Causas Especiais.

Diz-se que um processo está sob controle estatístico quando apenas causas comuns estão atuando no mesmo e a variabilidade se mantém numa faixa estável, conhecida como faixa característica do processo.

Quando causas especiais atuam sob o processo, o mesmo passa a comportar-se de um modo completamente diferente do usual, podendo resultar em um deslocamento no seu nível de qualidade. As causas especiais devem ser localizadas corretamente e eliminadas para que o processo retorne o mais breve possível ao seu estado de

controle estatístico. Através dos gráficos de controle é possível distinguir entre os dois tipos de causas de variação no processo, ele nos informa se o processo está ou não sob controle estatístico.

Um gráfico de controle consiste de:

- Uma linha média (LM);
- Um par de limites de controle. O limite inferior de controle (LIC) localiza-se abaixo da linha média e o limite superior de controle (LSC), que se localiza acima da linha média;
- Valores da característica da qualidade traçados no gráfico.

O exemplo abaixo ilustra o formato de um gráfico de controle.

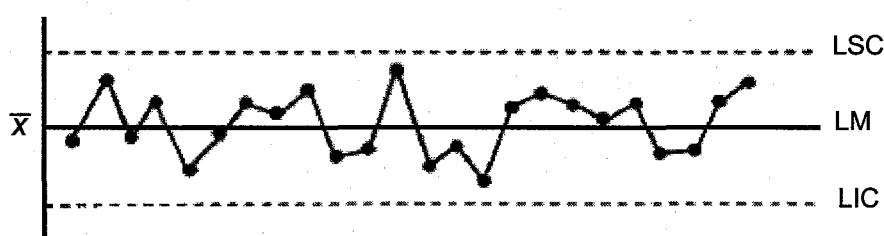


Figura 2.1 Exemplo de gráfico de controle onde o processo está sob controle estatístico.

O processo está fora de controle quando os pontos extrapolam os limites de controle especificados, apresentam tendência, aproximação com a linha média, entre outros (ver Teste de Nelson).

Existem dois tipos de gráfico de controle:

- Por atributo – as medidas representadas no gráfico são resultantes do número de itens do produto que apresentam uma característica particular de interesse, por exemplo, número de peças com altura fora do especificado. Os mais utilizados são:
  - Gráfico da proporção de defeituosos  $p$ ;
  - Gráfico do número de defeitos  $c$ .
- Por variável – a característica da qualidade de interesse tem a medida expressa por um número em uma escala contínua de medidas, por exemplo, diâmetro de um tubo. Os mais utilizados são:
  - Gráfico da média  $\bar{x}$ ;
  - Gráfico da amplitude  $R$ ;
  - Gráfico do desvio padrão  $s$ ;
  - Gráfico de medidas individuais  $x$ .

Neste projeto, será abordado apenas o gráfico de controle por variável e como é desejável controlar a média do processo e a variabilidade do mesmo, os gráficos  $\bar{x}$  e  $R$  serão utilizados conjuntamente.

### 2.4.1 Como Determinar os Limites de Controle

Se a característica de qualidade de interesse ( $x$ ) apresenta uma distribuição normal, com média  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$  conhecidos, então pode-se determinar os limites de controle utilizando o chamado sistema  $3\sigma$ , ou seja:  $\mu \pm 3\sigma/\sqrt{n}$ , no qual 99,73% das observações de  $x$  estarão dentro deste intervalo.

Quando os parâmetros  $\mu$  e  $\sigma$  forem desconhecidos, os mesmos deverão ser estimados através de dados amostrais. As amostras ou grupos amostrais devem ser extraídas do processo quando se acredita que o mesmo esteja sob controle. É usual considerar:

- $m$  (número de amostras) = 20 ou 25 no mínimo;
- $n$  (número de observações) = 4, 5 ou 6.

1. A média  $\mu$  é estimada pela média global da amostra ( $\bar{\bar{x}}$ ). Entretanto, é necessário calcular primeiramente a **média de cada amostra** ( $\bar{x}_i$ ). Segue:

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

2. Em seguida, é possível obter a **média global**:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m}$$

3. Calcula-se a amplitude média  $R_i$  de cada amostra.

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

4. Calcula-se a amplitude média  $\bar{R}$ .

$$\bar{R} = \frac{\bar{R}_1 + \bar{R}_2 + \dots + \bar{R}_m}{m}$$

5. Calcular os limites de controle para ambos os gráficos:

- Gráfico  $\bar{x}$ :

$$LSC = \bar{x} + A_2R$$

$$LM = \bar{x}$$

$$LIC = \bar{x} - A_2R$$

- Gráfico  $R$ :

$$LSC = D_4R$$

$$LM = R$$

$$LIC = D_3R$$

$A_2$ ,  $D_4$  e  $D_3$  são constantes tabeladas (ver ANEXO B).

6. Traçar os limites de controle no gráfico;
7. Marcar os pontos no gráfico, dando destaque aos pontos que se apresentarem fora dos limites de controle estabelecidos;
8. Registrar informações como: título, tamanho das amostras, período da coleta de dados, nome do processo e do produto, método utilizado na medição e o responsável pela elaboração dos gráficos.
9. Interpretar os gráficos, ou seja, analisar o comportamento dos pontos presentes no gráfico e avaliar se o processo está sob controle estatístico.
10. Rever periodicamente os valores dos limites de controle.

Quando o processo não estiver sob controle, ações devem ser tomadas imediatamente para que o padrão de qualidade retorne às suas especificações.

## 2.5 Limites de Controle e Limites de Especificação

Não existe relação entre os limites de especificação e os limites dos gráficos de controle. O primeiro reflete a necessidade dos clientes, já o segundo resulta da variabilidade natural do processo.

Os limites de especificação permitem avaliar se um processo produz ou não itens defeituosos, já os limites de controle permitem avaliar se um processo está ou não sob controle estatístico.

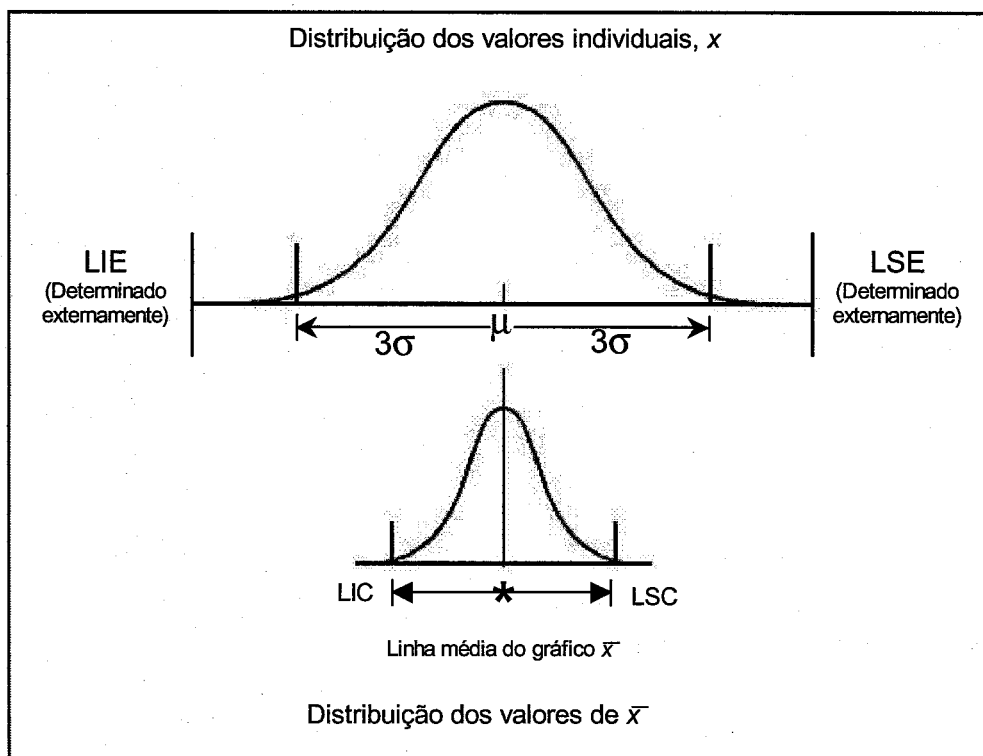


Figura 2.2. Segundo Montgomery, D.C. (1991) tem-se os limites de controle e os limites de especificação.

Segundo Kuwe, H. (1993), um processo pode estar classificado em 4 categorias:

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



## 2.6 Capacidade de Processos

A capacidade do processo é estabelecida a partir da faixa  $\mu \pm 3\sigma$ , denominada faixa característica do processo. Se o mesmo estiver sob controle 99,73% dos valores da variável  $x$  de interesse devem pertencer a esta faixa.

Caso o processo apresente elevada variabilidade e a sua média estiver deslocada em relação ao valor nominal, dizemos que o mesmo não é capaz. Desta forma, apenas processos que já possuem estabilidade devem ser avaliados.

Para avaliarmos graficamente da capacidade de um processo, utilizaremos um histograma construído a partir da característica da qualidade de interesse com os seus limites de especificação.

### 2.6.1 Índices de Capacidade

Os índices de capacidade são números adimensionais que permitem quantificar o desempenho dos processos e avaliar se o processo é capaz de gerar produtos que atendam às especificações.

#### 2.6.1.1 Índice $C_p$

Este índice reflete a capacidade de um processo estar centrado no valor nominal. Ele é uma medida de capacidade potencial e é definido por:

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

Normalmente, o desvio padrão do processo não é conhecido. Desta forma, o mesmo pode ser estimado através de  $\bar{R}/d_2$ , onde  $d_2$  é um valor tabelado.

O valor mínimo exigido para  $C_p$  é 1,33.

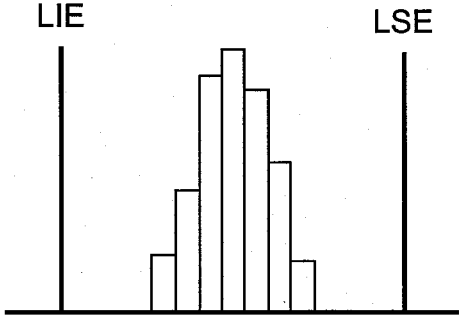
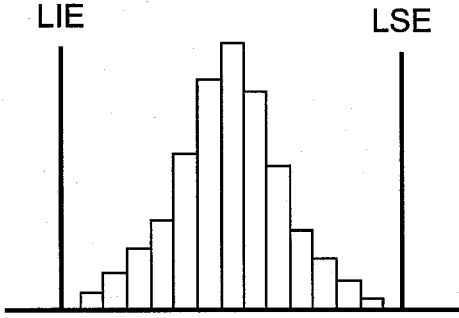
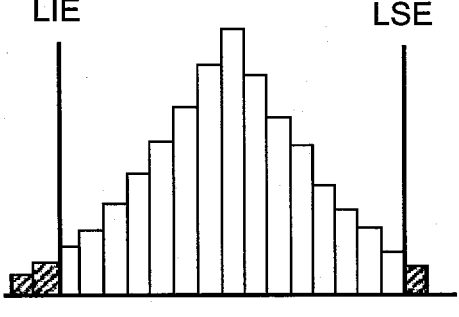
#### 2.6.1.2 Índice $C_{pk}$

O índice  $C_{pk}$  pode ser interpretado como uma medida da capacidade real do processo. Ele leva em consideração o valor da média do processo e permite avaliar se o mesmo é capaz de atingir o valor nominal da especificação. É definido por:

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

Do mesmo modo que o desvio padrão, normalmente, a média  $\mu$  é desconhecida. Utiliza-se então a média amostral ( $\bar{x}$ ) para o cálculo.

Quando a média do processo coincide com o valor nominal da especificação, então  $C_p$  e  $C_{pk}$  serão iguais.

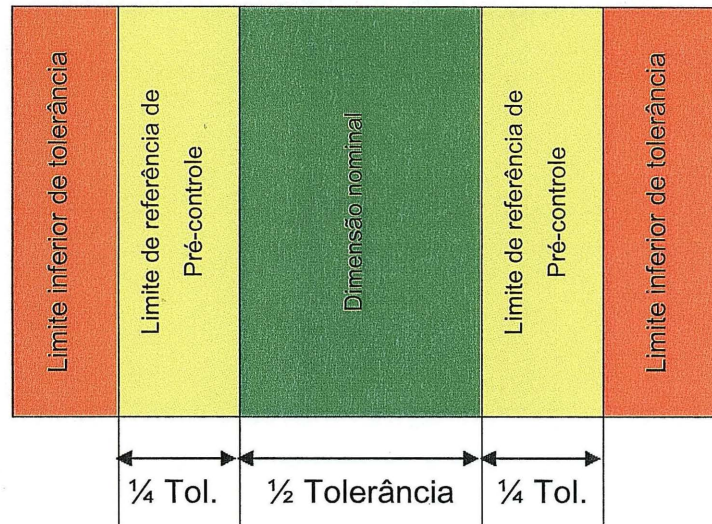
Valor de $C_p$	Comparação entre o histograma e as especificações	Classificação do processo
$C_p \geq 1,33$	 <p>Diagrama de um histograma normalizado com dois limites de especificação, LIE (Limite Inferior de Especificação) e LSE (Limite Superior de Especificação). O histograma está completamente contido dentro dos limites, indicando um processo capaz.</p>	Capaz ou adequado (verde)
$1 \leq C_p < 1,33$	 <p>Diagrama de um histograma normalizado com dois limites de especificação, LIE e LSE. O histograma está dentro dos limites, mas com uma distribuição mais estreita, indicando um processo aceitável.</p>	Aceitável (amarelo)
$C_p < 1$	 <p>Diagrama de um histograma normalizado com dois limites de especificação, LIE e LSE. Parte do histograma está fora dos limites, indicando um processo incapaz.</p>	Incapaz ou inadequado (vermelho)

## 2.7 Pré-controle

O pré-controle é utilizado para controlar um processo, mas tem sua base nos limites de tolerância. A qualificação do processo ocorre tomando-se amostras consecutivas

de indivíduos, quando um grupo de cinco amostras sucessivas estiverem dentro da zona central, pode-se aceitar que o produto está dentro da tolerância.

Figura 2.3. Limites de pré-controle para tolerância bilateral.



Após qualificado o processo o mesmo deve ser constantemente monitorado através da coleta periódica de dois indivíduos (A e B). Se ambos estiverem na zona de atenção deve-se tomar uma ação. Este tamanho de amostra diminui o risco de um alarme falso (Erro Tipo I) e a espera demasiada para a tomada de decisão. A frequência de 25 pares também diminui o custo, o esforço de amostras mais frequentes e também o risco de se produzir itens fora do especificado (Erro Tipo II). Recomenda-se seis pares de A e B entre os ajustes para garantir que não haja nenhuma peça fora da tolerância.

Uma abordagem mais aprofundada relativa aos tipos de erros pode ser encontrada na bibliografia utilizada para este projeto. O mesmo não abordará em profundidade este assunto.

### 3 SITUAÇÃO ATUAL

A Empresa Brasileira de Compressores - EMBRACO foi fundada em 10 de março de 1971, na cidade de Joinville (SC), com o objetivo de suprir a indústria nacional de refrigeradores, que era dependente da importação de compressores. No entanto, a produção efetiva de compressores teve início três anos mais tarde, em 1974.

Em 2006, devido a uma reorganização societária entre a Empresa Brasileira de Compressores S.A e a Multibrás S.A., a EMBRACO passou a atuar sob a razão social Whirlpool S.A., subsidiária de Whirlpool Corporation, maior fabricante mundial de eletrodomésticos. A Whirlpool Corporation é de capital norte-americano, possui receita aproximada de US\$ 19 bilhões, com 60 centros de produção e tecnologia em quatro continentes e mais de 80 mil colaboradores.

A EMBRACO tem plantas industriais no Brasil, Itália, China e Eslováquia. Além de bases produtivas, a EMBRACO conta com escritórios de vendas nos Estados Unidos, México e Itália e centros de distribuição localizados de forma estratégica.

Segundo Relatório Anual de Sustentabilidade divulgado em 2008, ano de exercício 2007, a EMBRACO possui receita de aproximadamente US\$ 130 milhões, aproximadamente 10 mil colaboradores e capacidade produtiva de 25 milhões de compressores ao ano.

O portfólio de produtos inclui doze (12) famílias de compressores, unidades condensadoras, unidades seladas, trocadores de calor, tanques líquidos, sistema de refrigeração para cabines de caminhões, componentes fundidos para indústrias automobilísticas e componentes elétricos, o que representa um *market share* estimado em 22% no seu segmento de atuação. Dentre as doze famílias de compressores destaque para o microcompressor, cuja aplicação é destinada ao mercado de informática, em especial *notebooks*.

#### 3.1 Diagnóstico da Situação

O processo de manufatura na Whirlpool S.A – Unidade Compressores Embraco está dividido em três grandes unidades gerenciais. São elas:

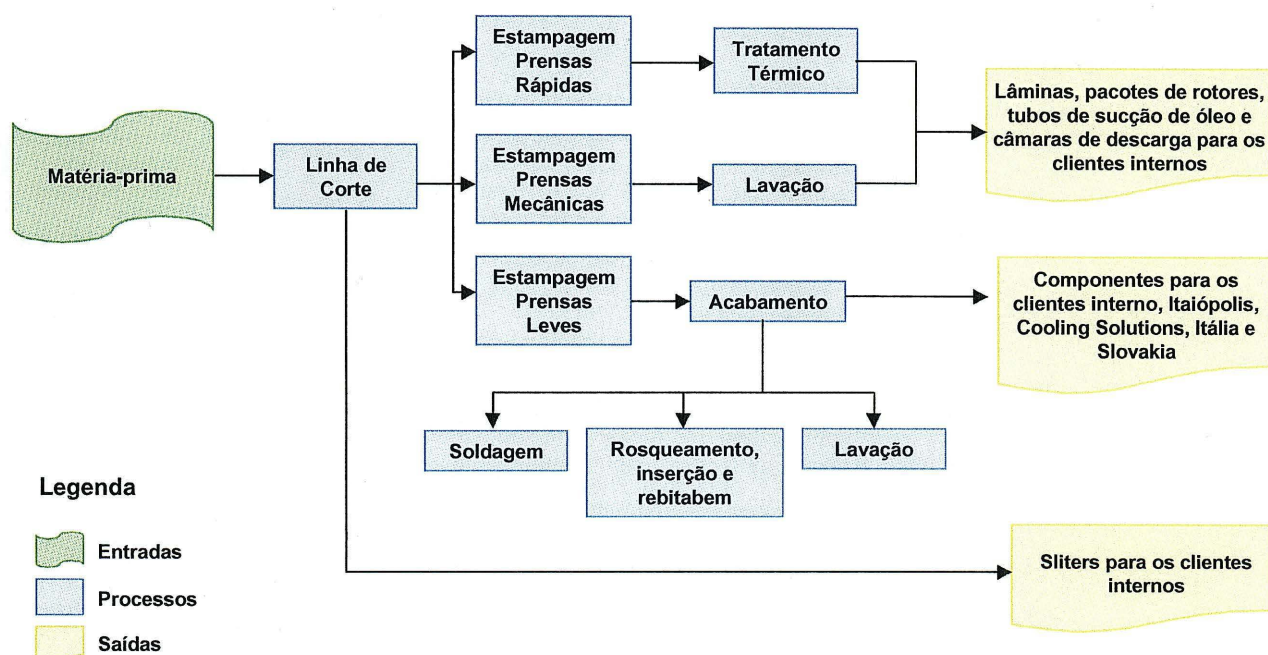
- Fábrica de Componentes;
- Fábrica de Compressores Minis e
- Fábrica de Compressores Midis.

A Fábrica de Componentes, por sua vez, subdivide-se em quatro unidades:

- Fundição;
- Componentes Estampados;
- Componentes Itaiópolis e
- Cooling Solutions.

Este trabalho tem como objetivo implantar controle de processos de forma sistêmica em uma única ferramenta de estampagem na unidade de Componentes Estampados. A unidade está distribuída em células e o fluxo abaixo fornece uma visão geral dos processos envolvidos, desde a chegada da matéria-prima até a entrega dos produtos aos processos seguintes.

Figura 3.1. Processos da unidade de Componentes Estampados e seu macrofluxo produtivo.



O controle estatístico de processo não é um tema novo na EMBRACO. Um time composto por pessoas das áreas de P&D, Garantia da Qualidade e Especialistas das unidades produtivas avaliou o produto “compressor” e estabeleceu uma lista de CTQ’s. Na unidade de Componentes Estampados optou-se então, por enfatizar o

processo de estampagem em prensas rápidas e mecânicas, devido a criticidade dos produtos (rotores, estatores e tubos de sucção de óleo) e do ferramental envolvido. Deste modo, o *status* do controle estatístico de processos na unidade de Componentes Estampados está com a seguinte fotografia:

- Prensas Rápidas – Implantado
  - 33 ferramentas / 19 prensas / 7 dispositivos de controle;
- Prensas Mecânicas – Implantado
  - 8 ferramentas / 3 prensas / 6 dispositivos de controle;
- Prensas Leves – Sem controle sistêmico
  - 100 ferramentas / 9 prensas / 18 dispositivos de controle.

Dos CTQ's estabelecidos e monitorados atualmente, têm-se 825 cartas de controle cadastradas. Em grande parte dos processos monitorados, a coleta de dados é realizada de modo automático. O dispositivo de controle é conectado em rede com o computador e registra automaticamente os valores das medições dos ctq's avaliados nas cartas de controle utilizando um software comercial.

Para melhor avaliação interna, a EMBRACO desenvolveu um software próprio para o gerenciamento das avaliações dos processos nas suas unidades fabris, onde estão armazenadas informações referentes aos dispositivos de controle/meios de medição e a "capabilidade" das máquinas/equipamentos.

Para as ferramentas que produzem em aço de repuxo (Prensas Leves), foi realizada uma análise de prioridade de componentes de necessitam um maior acompanhamento. Esta análise consistiu dos seguintes pontos:

1. Este componente já gerou reclamações nos clientes externos?
2. Este componente já gerou rejeição de linha nos clientes externos?
3. Este componente já gerou rejeição de linha nos clientes internos?
4. Este componente já gerou anomalias internas?

Após análise feita através de informações vindas da manufatura e Garantia da Qualidade, os seguintes componentes e/ou famílias de componentes foram eleitos:

COMPONENTES	Bloqueios internos?		Total?	Anomalias?		Total?	Reclamação de clientes?		Total?	Rejeitos linha do cliente?		Total?
	Sim	Não		Sim	Não		Sim	Não		Sim	Não	
Componente A	X		4	X		7	X		1	X		1
Componente B	X		7	X		5		X			X	
Componente C	X		1		X		X		6		X	
Componente D	X		17	X		6	X		1	X		6
Componente E	X		11	X		5		X		X		15

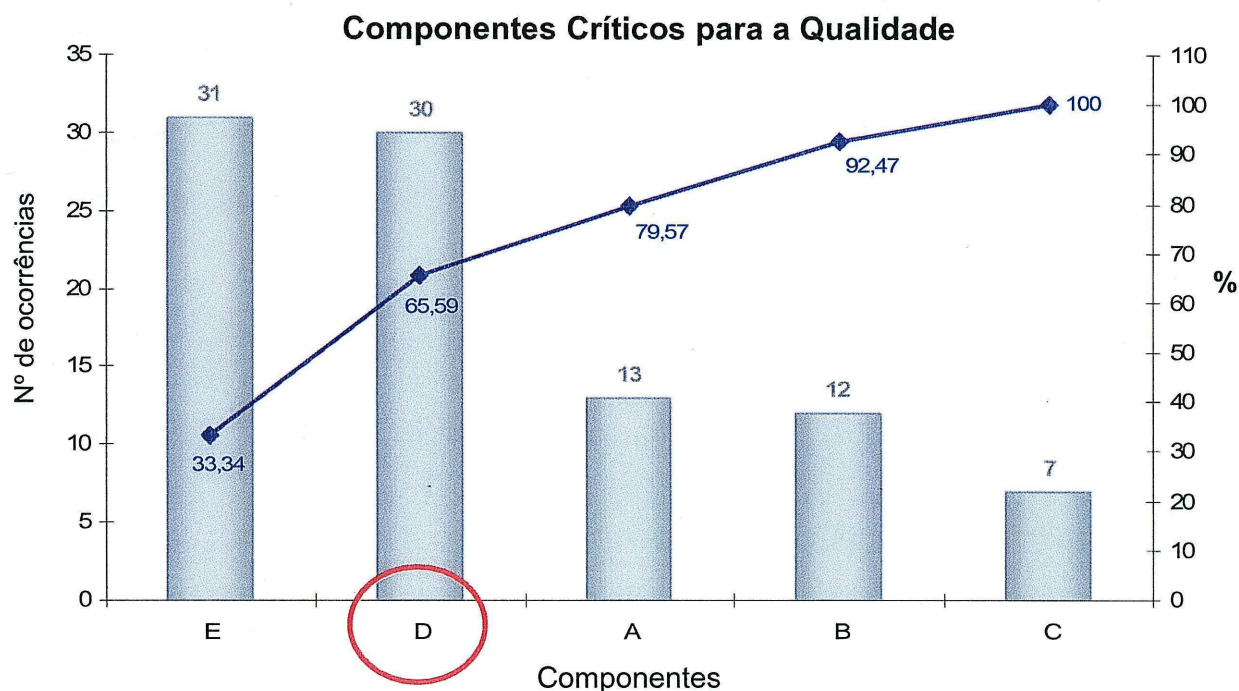
Ano	Total de anomalias no departamento	Devido ao componentes selecionados neste	%
2007	28	9	32
2008	24	6	25
2009	10	3	30

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia adequada para a implantação eficiente de controle estatístico de processo em uma ferramenta de prensas leves, no qual o modelo poderá ser replicado às demais.

## 4 PROPOSTA

### 4.1 Sistema Proposto

Através de um diagrama de Pareto, foi possível decidir qual componente receberia prioridade na aplicação do controle estatístico de processo. Conforme figura abaixo, vemos que o Componente E tem uma (1) ocorrência a mais do que o Componente D, e este receberia prioridade. No entanto, a avaliação foi realizada com todo o portfólio de componentes e o Componente E aparece no topo devido a um desvio no processo de soldagem. Já os desvios apresentados no Componente D são devido a falhas no processo de estampagem, sendo assim, o mesmo será priorizado.



### 4.2 Plano de Implantação

Com a definição do Componente D, é necessário:

1. Estabelecer as características críticas deste produto para a qualidade, os (CTQ's). Estas características serão estabelecidas através de informações vindas das seguintes fontes:
  - Desenho de produto;
  - FMEA / FTA;



- Processos seguintes;
- Necessidades dos clientes (reclamações).

No desenho de produto as cotas críticas já deve estar contempladas, entretanto, é necessário priorizá-las. Através das três fontes de informações restantes, a decisão de quais serão os CTQ's priorizados fica mais clara e objetiva, minimizando custos com controles desnecessários.

2. Os sistemas de medição também necessitam ser avaliados quanto as suas repetibilidades e reprodutibilidades (*R&R*).

Não será abordada a maneira no qual são avaliados os sistemas de medição neste projeto, no entanto, é fundamental que o meio de controle seja adequado para o fim. Nas referências utilizadas para este projeto também é possível encontrar material sobre este assunto de forma consistente.

Estabelecidas as características é necessário então:

3. Realizar a amostragem. Segundo Grant, E. 1988, o tamanho da amostra sugerido para os processo industriais varia entre 4 e 5.
4. Avaliar estatisticamente os dados coletados para estabelecer os limites de controle;
5. Criar plano de controle, com frequência de amostragem e tamanho de amostra definidos;
6. Avaliar a estabilidade do processo, se:
  - Sim: Avaliar o potencial do processo para melhoria no padrão atual;
  - Não: investigar as causas especiais e adotar ações corretivas e preventivas.
7. Avaliar o desempenho do processo quanto a especificação do produto:
  - a. Sim: controla e aperfeiçoa para melhorar;
  - b. Não: centraliza o processo e reduz variabilidade.

Ver fluxo Anexo D.

### **4.3 Recursos**

Para que o controle estatístico de processo esteja padronizado na unidade, o mesmo será implantado utilizando recursos semelhantes aos já disponibilizados para Prensas Rápidas e Prensas Mecânicas, isto inclui:

- Licença de software comercial de controle estatístico de processo para elaboração das cartas de controle e avaliação do processo;
- Dispositivos de controle (relógios comparadores, paquímetros, colunas) com saída de sinal para que os dados sejam capturados pelo software;
- Treinamento para os operadores relacionado a utilização correta dos dispositivos implantados e avaliação correta das cartas de controle;
- Treinamento para a equipe em ferramentas da qualidade como PDCA, Diagrama de Causa e Efeito, para que o processo evolua continuamente e de forma consistente;
- Local adequado para realizar as medições (sala com mesa própria para dispositivos de controle).

### **4.4 Resultados Esperados**

- Redução de 95% no número de bloqueios internos;
- Redução de 100% no número de reclamações de clientes;
- Redução de 85% no número de anomalias no sistema devido ao Componente D;
- Redução de 70% na quantidade de sucata do Componente D (de 7.100 para 2.130 unidades), ou seja, de 471ppm para 141ppm.

### **4.5 Riscos ou Problemas Esperados e Medidas Preventivas/Corretivas**

Foram avaliados alguns riscos na implantação do projeto, tais como:

1. Restrições de orçamentação financeira, o que dificultaria a adequação do ambiente para a medição (mesa), a aquisição de dispositivos de controle com saída de sinal e a licença do software;
2. Pessoas capacitadas para treinar os envolvidos serem desligadas da empresa;
3. Gerência não valorizar o trabalho realizado pela equipe no controle do processo;

4. Pessoas não estarem comprometidas ou desconhecerem os benefícios gerados através de um processo que se encontra sob controle estatístico.

Seguem abaixo medidas preventivas/corretivas que poderão ser aplicadas para que os riscos a cima sejam minimizados. Segue na ordem do item:

1. Iniciar o controle com os recursos disponíveis no momento para que a empresa perceba o retorno que terá sobre o investimento realizado. As cartas de controle podem ser elaboradas em folhas de papel e disponibilizadas nos postos de trabalho. Demandará maior tempo e atenção dos envolvidos no processo para gerenciar todas as informações das cartas de controle;
2. Como o controle estatístico será aplicado em uma área específica, pessoas das demais áreas poderão ministrar cursos para capacitar os novos envolvidos, evitando assim gastos com a contratação de consultorias;
3. Sensibilizar a alta direção em relação aos benefícios a curto, médio e longo prazo que o controle de processo oferece para quem o utiliza;
4. Semelhante ao item anterior.

## 5 CONCLUSÕES

O mundo está em constante movimento e os processos não poderiam estar de outra forma. Existe uma tendência natural à entropia, que é a tendência de desorganização das condições de controle. Existem duas citações que seguem a mesma linha de pensamento e que explicam muito bem a importância de monitorarmos continuamente nossos processos.

Segundo Kramer, G.E.P., "Nós necessitamos de controle porque vivemos num mundo não estacionário, onde, se deixadas sozinhas, máquinas não permanecem ajustadas, operadores esquecem ou mudam suas tarefas e as coisas tendem a se deteriorar".

Para Deming, W.E., "O estado de controle estatístico não é um estado natural de processos de produção. Muito pelo contrário, é uma meta a ser alcançada pela eliminação, uma a uma, das causas especiais de variação, como resultado de muito esforço e determinação".

As técnicas aqui apresentadas para a implantação do controle estatístico de processo atuarão como ferramentas básicas na coleta, no processamento e na disposição das informações, permitindo a tomada de decisões confiáveis. O Ciclo PDCA precisará girar constantemente baseado nestas informações para que ações sejam tomadas de forma a encontrar as causas fundamentais de variações especiais nos processos e eliminá-las.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY. Disponível em: <<http://www.asq.org>> Acesso 20 ago. 2009.

COSTA, Antonio Fernando., EPPRECHT, Eugenio Kahn., CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro., **Controle Estatístico de Qualidade**. 2 ed. São Paulo: Editora: Atlas S.A, 2008. 334 p.

CROSBY, Philip B. **Qualidade sem Lágrimas: A arte da gerência descomplicada**, tradução de Áurea Weissenberg, 2 ed. Rio de Janeiro: Editora José Olympio, 1992. 234 p.

GRANT, Eugene L.; LEAVENWORTH, Richard S., **Statistical Quality Control**. 6<sup>th</sup>. ed. New York: Editora: Mcgraw-Hill, 1988.

KUME, H. **Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade**. São Paulo: Editora: Gente, 1993.

MONTGOMERY, D.C. **Introduction to Statistical Quality Control**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1991

NIKKEL, Walter. **Controle Estatístico de Processo**. Apostila Curso de Especialização em Gestão da Qualidade, 2008.

SILICONFAREAST. Management Topics. **Statistical Process Control and Six-Sigma Quality Program**. Disponível em: <<http://www.siliconfareast.com>> Acesso 15 ago. 2009.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos**. Belo Horizonte: Editora Fundação Christiano Ottoni, 1995. 404 p. Série Ferramentas da Qualidade, V.2

## ANEXO A

## Distribuição Normal Padronizada

z	,00	,01	,02	,03	,04	,05	,06	,07	,08	,09
-3,5	,0002	,0002	,0002	,0002	,0002	,0002	,0002	,0002	,0002	,0002
-3,4	,0003	,0003	,0003	,0003	,0003	,0003	,0003	,0003	,0003	,0002
-3,3	,0005	,0005	,0005	,0004	,0004	,0004	,0004	,0004	,0004	,0003
-3,2	,0007	,0007	,0006	,0006	,0006	,0006	,0006	,0005	,0005	,0005
-3,1	,0010	,0009	,0009	,0009	,0008	,0008	,0008	,0008	,0007	,0007
-3,0	,0013	,0013	,0013	,0012	,0012	,0011	,0011	,0011	,0010	,0010
-2,9	,0019	,0018	,0018	,0017	,0016	,0016	,0015	,0015	,0014	,0014
-2,8	,0026	,0025	,0024	,0023	,0023	,0022	,0021	,0021	,0020	,0019
-2,7	,0035	,0034	,0033	,0032	,0031	,0030	,0029	,0028	,0027	,0026
-2,6	,0047	,0045	,0044	,0043	,0041	,0040	,0039	,0038	,0037	,0036
-2,5	,0062	,0060	,0059	,0057	,0055	,0054	,0052	,0051	,0049	,0048
-2,4	,0082	,0080	,0078	,0075	,0073	,0071	,0069	,0068	,0066	,0064
-2,3	,0107	,0104	,0102	,0099	,0096	,0094	,0091	,0089	,0087	,0084
-2,2	,0139	,0136	,0132	,0129	,0125	,0122	,0119	,0116	,0113	,0110
-2,1	,0179	,0174	,0170	,0166	,0162	,0158	,0154	,0150	,0146	,0143
-2,0	,0228	,0222	,0217	,0212	,0207	,0202	,0197	,0192	,0188	,0183
-1,9	,0287	,0281	,0274	,0268	,0262	,0256	,0250	,0244	,0239	,0233
-1,8	,0359	,0351	,0344	,0336	,0329	,0322	,0314	,0307	,0301	,0294
-1,7	,0446	,0436	,0427	,0418	,0409	,0401	,0392	,0384	,0375	,0367
-1,6	,0548	,0537	,0526	,0516	,0505	,0495	,0485	,0475	,0465	,0455
-1,5	,0668	,0655	,0643	,0630	,0618	,0606	,0594	,0582	,0571	,0559
-1,4	,0808	,0793	,0778	,0764	,0749	,0735	,0721	,0708	,0694	,0681
-1,3	,0968	,0951	,0934	,0918	,0901	,0885	,0869	,0853	,0838	,0823
-1,2	,1151	,1131	,1112	,1093	,1075	,1056	,1038	,1020	,1003	,0985
-1,1	,1357	,1335	,1314	,1292	,1271	,1251	,1230	,1210	,1190	,1170
-1,0	,1587	,1562	,1539	,1515	,1492	,1469	,1446	,1423	,1401	,1379
-0,9	,1841	,1814	,1788	,1762	,1736	,1711	,1685	,1660	,1635	,1611
-0,8	,2119	,2090	,2061	,2033	,2005	,1977	,1949	,1922	,1894	,1867
-0,7	,2420	,2389	,2358	,2327	,2297	,2266	,2236	,2206	,2177	,2148
-0,6	,2743	,2709	,2676	,2643	,2611	,2578	,2546	,2514	,2483	,2451
-0,5	,3085	,3050	,3015	,2981	,2946	,2912	,2877	,2843	,2810	,2776
-0,4	,3446	,3409	,3372	,3336	,3300	,3264	,3228	,3192	,3156	,3121
-0,3	,3821	,3783	,3745	,3707	,3669	,3632	,3594	,3557	,3520	,3483
-0,2	,4207	,4168	,4129	,4090	,4052	,4013	,3974	,3936	,3897	,3859
-0,1	,4602	,4562	,4522	,4483	,4443	,4404	,4364	,4325	,4286	,4247
-0,0	,5000	,4960	,4920	,4880	,4840	,4801	,4761	,4721	,4681	,4641



## ANEXO B

Constantes para a construção de gráficos de controle (Montgomery, D.C, 1991).

Observações na amostra, $n$	Gráficos para Médias					Gráficos para Desvio Padrão							Gráficos para Amplitudes			
	Fatores para os limites de controle			Fatores para a linha média		Fatores para os limites de controle				Fatores para a linha média			Fatores para os limites de controle			
	$A$	$A_2$	$A_3$	$C_4$	$1/C_4$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$d_2$	$1/d_2$	$d_3$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$
2	2,121	1,880	2,659	0,7979	1,2533	0	3,267	0	2,606	1,128	0,8865	0,853	0	3,686	0	3,267
3	1,732	1,023	1,954	0,8862	1,1284	0	2,568	0	2,276	1,693	0,5907	0,888	0	4,358	0	2,575
4	1,500	0,729	1,628	0,9213	1,0854	0	2,266	0	2,088	2,059	0,4857	0,880	0	4,698	0	2,282
5	1,342	0,577	1,427	0,9400	1,0638	0	2,089	0	1,964	2,326	0,4299	0,864	0	4,918	0	2,115
6	1,225	0,483	1,287	0,9515	1,0510	0,030	1,970	0,029	1,874	2,534	0,3946	0,848	0	5,078	0	2,004
7	1,134	0,419	1,182	0,9594	1,0423	0,118	1,882	0,113	1,806	2,704	0,3698	0,833	0,204	5,204	0,076	1,924
8	1,061	0,373	1,099	0,9650	1,0363	0,185	1,815	0,179	1,751	2,847	0,3512	0,820	0,388	5,306	0,136	1,864
9	1,000	0,337	1,032	0,9693	1,0317	0,239	1,761	0,232	1,707	2,970	0,3367	0,808	0,547	5,393	0,184	1,816
10	0,949	0,308	0,975	0,9727	1,0281	0,284	1,716	0,276	1,669	3,078	0,3249	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777
11	0,905	0,285	0,927	0,9754	1,0252	0,321	1,679	0,313	1,637	3,173	0,3152	0,787	0,811	5,535	0,256	1,744
12	0,866	0,266	0,886	0,9776	1,0229	0,354	1,646	0,346	1,610	3,258	0,3069	0,778	0,922	5,594	0,283	1,717
13	0,832	0,249	0,850	0,9794	1,0210	0,382	1,618	0,374	1,585	3,336	0,2998	0,770	1,025	5,647	0,307	1,693
14	0,802	0,235	0,817	0,9810	1,0194	0,406	1,594	0,399	1,563	3,407	0,2935	0,763	1,118	5,696	0,328	1,672
15	0,775	0,223	0,789	0,9823	1,0180	0,428	1,572	0,421	1,544	3,472	0,2880	0,756	1,203	5,741	0,347	1,653
16	0,750	0,212	0,763	0,9835	1,0168	0,448	1,552	0,440	1,526	3,532	0,2831	0,750	1,282	5,782	0,363	1,637
17	0,728	0,203	0,739	0,9845	1,0157	0,466	1,534	0,458	1,511	3,588	0,2787	0,744	1,356	5,820	0,378	1,622
18	0,707	0,194	0,718	0,9854	1,0148	0,482	1,518	0,475	1,496	3,640	0,2747	0,739	1,424	5,856	0,391	1,608
19	0,688	0,187	0,698	0,9862	1,0140	0,497	1,503	0,490	1,483	3,689	0,2711	0,734	1,487	5,891	0,403	1,597
20	0,671	0,180	0,680	0,9869	1,0133	0,510	1,490	0,504	1,470	3,735	0,2677	0,729	1,549	5,921	0,415	1,585
21	0,655	0,173	0,663	0,9876	1,0126	0,523	1,477	0,516	1,459	3,778	0,2647	0,724	1,605	5,951	0,425	1,575
22	0,640	0,167	0,647	0,9882	1,0119	0,534	1,466	0,528	1,448	3,819	0,2618	0,720	1,659	5,979	0,434	1,566
23	0,626	0,162	0,633	0,9887	1,0114	0,545	1,455	0,539	1,438	3,858	0,2592	0,716	1,710	6,006	0,443	1,557
24	0,612	0,157	0,619	0,9892	1,0109	0,555	1,445	0,549	1,429	3,895	0,2567	0,712	1,759	6,031	0,451	1,548
25	0,600	0,153	0,606	0,9896	1,0105	0,565	1,435	0,559	1,420	3,931	0,2544	0,708	1,806	6,056	0,459	1,541



## ANEXO C

Capacidade de processo versus partes por milhão rejeitadas.

Cpk	Sigma	ppm
0.43	-	193.600
0.47	-	161.510
0.50	1.50	133.610
0.53	-	109.600
0.57	-	89.130
0.60	-	71.960
0.63	-	57.430
0.67	-	45.500
0.70	-	35.730
0.73	-	27.810
0.77	-	21.450
0.80	-	16.400
0.83	-	12.420
0.87	-	9.322
0.90	-	6.934
0.93	-	5.110
0.97	-	3.732
1.00	3.00	2.700
1.03	-	1.935
1.07	-	1.374
1.10	-	967
1.13	-	674
1.16	~3.50	465
1.20	-	318
1.23	-	216
1.27	-	145
1.30	-	98
1.33	4.00	64
1.37	-	41
1.40	-	27
1.43	-	17
1.47	-	11
1.50	4.50	7
1.53	-	4
1.57	-	3
1.60	~5.00	0.5
2.00	6.00	0.00198

Fonte: SiliconFarEast.com

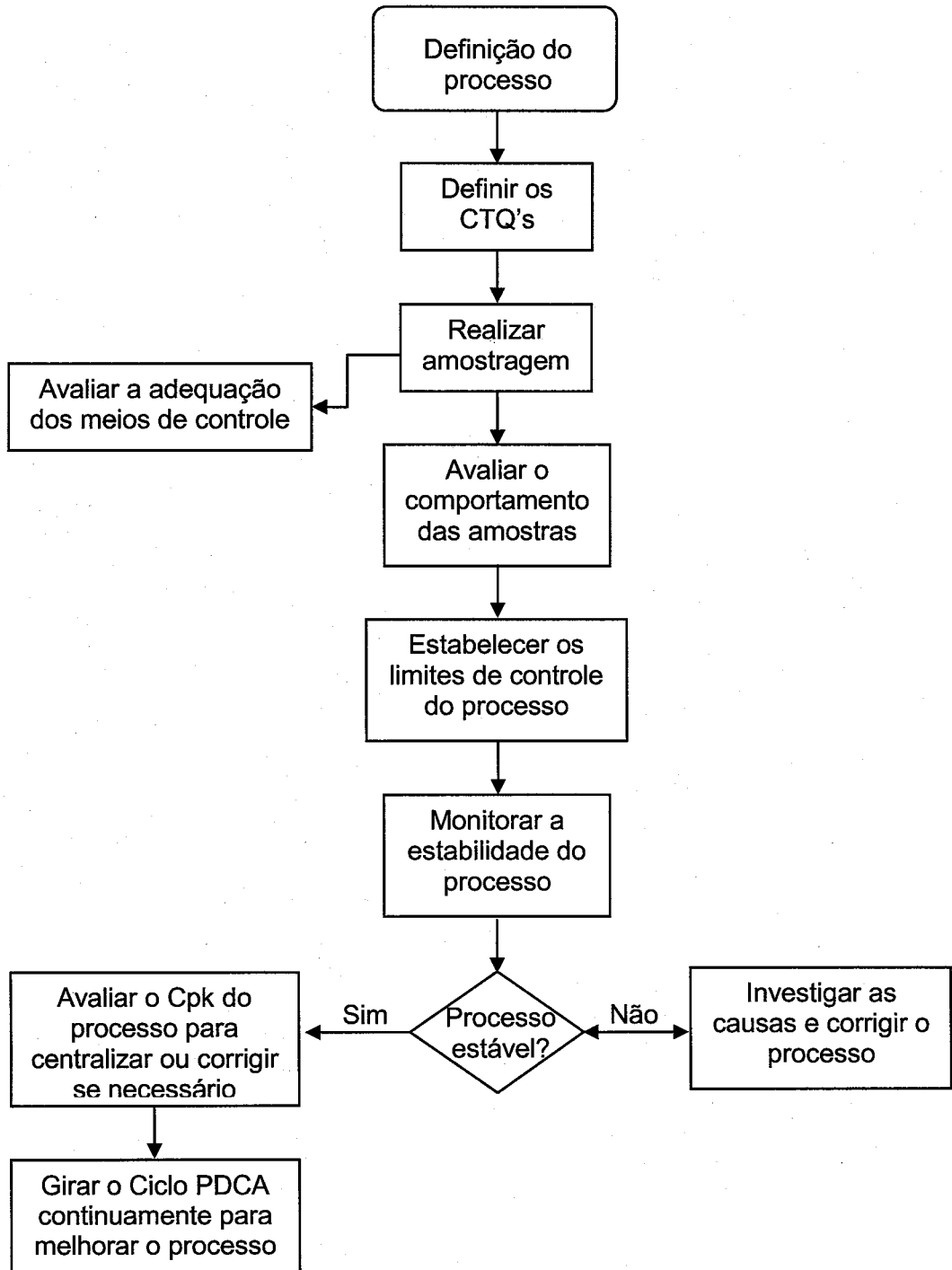
Percentual da área de uma distribuição normal dentro e fora dos limites especificados para diferentes números de Sigma

Sigmas	% área do gráfico dentro dos limites de especificação	% área do gráfico fora dos limites de especificação
+/- 1 Sigma	66%	37%
+/- 2 Sigmas	95%	5%
+/- 3 Sigmas	99.73%	0.27%
+/- 4 Sigmas	99.9936%	0.0063%
+/- 5 Sigmas	99.99995%	0.00005%

Fonte: SiliconFarEast.com

**ANEXO D**

Macrofluxograma para implantação do controle estatístico de processo.



## ANEXO E

Exemplo da construção de uma Carta de Controle  $\bar{X}$ ,  $R$  para avaliar a estabilidade de uma ferramenta de estampagem de repuxo, onde a característica "Altura do ponto de solda" possui as seguintes especificações:

- Limite Inferior de Especificação (LIE): 1,8mm;
- Limite Superior de Especificação (LSE): 2,2mm;
- Nominal: 2,0mm

Foram coletadas 20 amostras de 5 elementos ( $n=5$ ).

Amostras	Valores observados (mm)					$\bar{X}$	$R$
1	2,08	2,12	2,16	2,18	2,13	2,13	0,1
2	2,1	2,04	2,14	2,16	2,14	2,12	0,12
3	2,19	2,04	2,12	2,13	2,18	2,13	0,15
4	2,08	2,21	2,1	2,22	2,17	2,16	0,14
5	2,05	2,11	2,06	2,17	2,03	2,08	0,14
6	2,11	2,02	2,14	2,02	2,16	2,09	0,14
7	2,2	2,13	2,18	2,19	2,2	2,18	0,07
8	2,11	2,22	2,1	2,18	2,07	2,14	0,15
9	2,07	2,18	2,06	2,27	2,05	2,13	0,22
10	2,18	2,06	2,2	2,09	2,16	2,14	0,14
11	2,2	2,09	2,18	2,15	2,17	2,16	0,11
12	2,11	2,23	2,21	2,2	2,15	2,18	0,12
13	2,19	2,17	2,02	2,18	2,03	2,12	0,17
14	2,18	2,06	2,18	2,11	2,2	2,15	0,14
15	2,24	2,17	2,22	2,12	2,22	2,19	0,12
16	2,28	2,23	2,2	2,19	2,1	2,20	0,18
17	2,02	2,17	2,14	2,2	2,18	2,14	0,18
18	2,09	2,07	2,19	2,05	2,19	2,12	0,14
19	2,23	2,17	2,21	2,18	2,22	2,20	0,06
20	2,21	2,22	2,19	2,24	2,18	2,21	0,06
						$\bar{X}''$	$R'$
						2,15	0,1325

Calcula-se os limites de controle para as médias,  $\bar{X}''$ . Conforme ANEXO B:

$$A_2 = 0,5777$$

$$\begin{aligned} \text{Limite inferior de controle (LIC}_x\text{):} & \quad \bar{X}'' - A_2 * R' \\ & : 2,15 - (0,577)*0,1325 \\ & : \mathbf{2,07} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Limite superior de controle (LSC}_x\text{):} & \quad \bar{X}'' + A_2 * R' \\ & : 2,15 + (0,577)*0,1325 \\ & : \mathbf{2,23} \end{aligned}$$

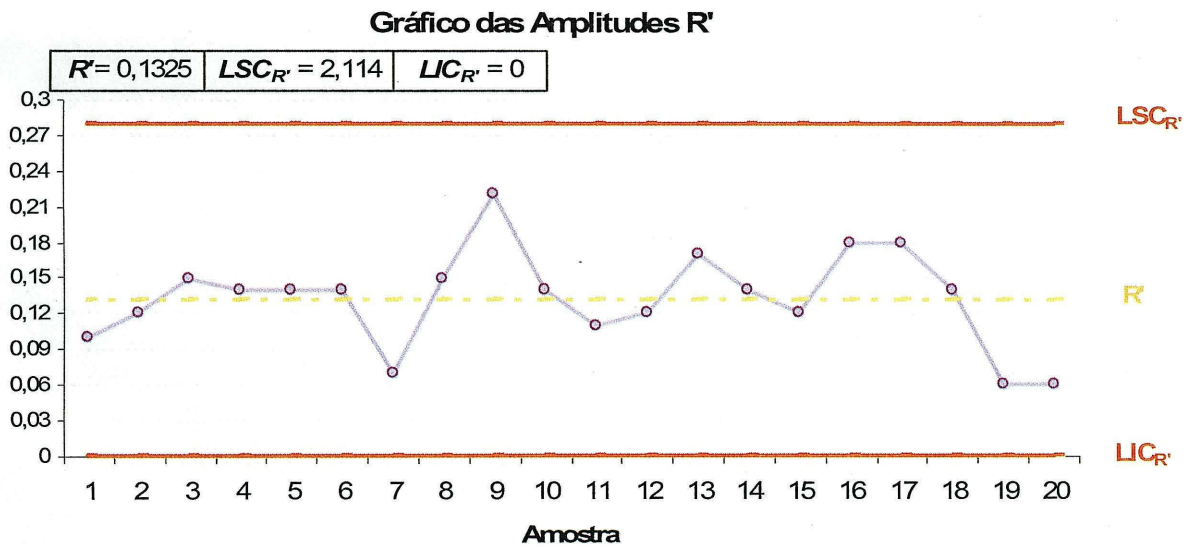
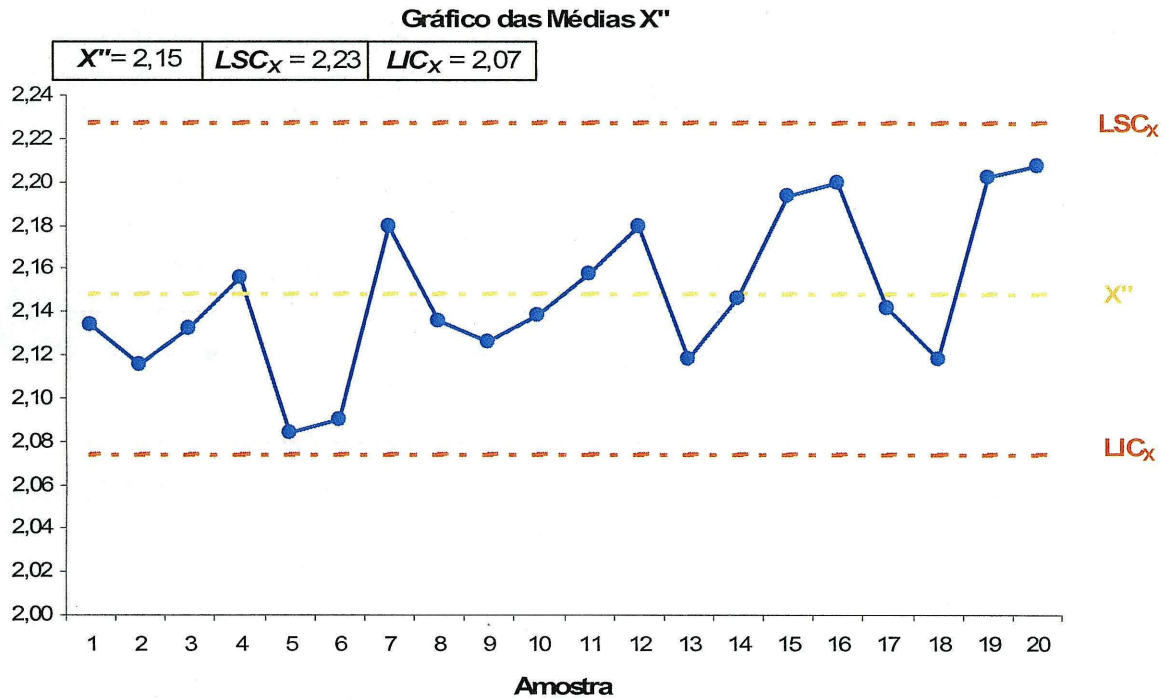
Calcula-se os limites de controle para as amplitudes,  $R'$ . Conforme ANEXO B:

$$D_3 = 0 \text{ e } D_4 = 2,114.$$

$$\begin{aligned} \text{Limite inferior de controle (LIC}_R\text{):} & \quad D_3 * R' \\ & : 0*0,1325 \\ & : \mathbf{0} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Limite superior de controle (LSC}_R\text{):} & \quad D_4 * R' \\ & : 2,114*0,1325 \\ & : \mathbf{0,28} \end{aligned}$$

Com os limites estabelecidos é possível gerar os gráficos.



## ANEXO F

Exemplo da construção de um Diagrama de Ishikawa (Diagrama Causa-Efeito). Esta ferramenta auxilia na avaliação das causas especiais que atuam sobre o processo deixando-o instável.

