

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**  
**GEPEQ – Grupo de Estudos e Pesquisa em Qualidade**

**CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE**

*Prof. José Carlos de Toledo*  
*Prof. Dário Henrique Alliprandini*

**São Carlos – SP**  
**2004**

## ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO AO CEP - CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO .....	1
1.1	A Metodologia do Controle da Qualidade e o CEP .....	1
1.1.1	A visão moderna de CEP .....	2
1.2	Por Que Controlar o Processo?.....	3
1.2.1	Controle do processo e ciclo PDCA .....	5
1.2.2	O ciclo PDCA de controle .....	6
1.2.3	Benefícios dos gráficos de controle .....	6
1.3	Observações sobre o CEP .....	7
2	GRÁFICOS DE CONTROLE.....	9
2.1	Esquema Geral dos Gráficos de Controle.....	9
2.2	Tipos de Gráficos de Controle .....	9
2.2.1	Gráficos de Variáveis .....	9
2.2.2	Gráficos de Atributos.....	11
2.3	Construção dos Gráficos de Controle .....	11
2.3.1	Escolha do tipo de gráfico a ser utilizado.....	12
2.3.2	Coleta de dados .....	13
2.3.3	Formação de Subgrupos Racionais .....	14
2.3.4	Escolha dos limites de controle .....	14
2.4	Cálculo da linha central e dos limites de controle .....	15
2.4.1	Gráficos de Atributos.....	15
2.4.2	Gráficos de Variáveis .....	21
2.5	Gráficos de Pré-controle .....	25
2.5.1	Vantagens e Desvantagens do Pré Controle .....	25
2.5.2	Requisitos para a Aplicação.....	26

2.5.3	Procedimento para Utilização do Pré-Controlle .....	27
2.6	Gráficos Para Valores Individuais e Amplitude .....	30
2.6.1	Vantagens dos gráficos (X-R) .....	30
2.6.2	Desvantagens dos gráficos de (X-R) .....	31
2.6.3	Cálculo dos limites de controle.....	31
3	ANÁLISE DE PROCESSOS: ESTABILIDADE E CAPACIDADE.....	33
3.1	Estabilidade de Processos.....	33
3.2	Capacidade do Processo .....	36
3.2.1	Considerações iniciais .....	36
3.2.2	O caso dos atributos.....	37
3.2.3	Determinação dos limites naturais de tolerância de um processo: o caso de variáveis.....	37
3.2.4	Índice de capacidade de um processo.....	38
3.2.5	Relação entre capacidade e controle do processo.....	39
4	INSPEÇÃO DA QUALIDADE .....	40
4.1	Objetivos da Inspeção da Qualidade.....	40
4.2	Pontos de Inspeção .....	40
4.2.1	Inspeção de recebimento.....	40
4.2.2	Inspeção durante a fabricação.....	40
4.2.3	Inspeção de produto acabado.....	41
4.3	Tipos de Inspeção .....	41
4.3.1	Inspeção 100% .....	41
4.3.2	Inspeção por amostragem .....	41
4.3.3	Inspeção Sensorial .....	42
4.3.4	Outros tipos de inspeção de conformidade.....	42
4.4	Considerações gerais sobre a inspeção da qualidade .....	43
	Atividades da Inspeção:.....	43
	Conhecimentos necessários para atividade de inspeção:.....	43

O Perfil desejado de um inspetor deve considerar: .....	43
5 PLANOS DE AMOSTRAGEM .....	45
5.1 Introdução .....	45
5.2 Níveis de Qualidade, Risco do Produtor e Risco do Consumidor .....	45
5.3 CCO – Curva Característica de Operação .....	46
5.4 Tipos de Planos de Amostragem .....	48
5.4.1 Planos de amostragem simples .....	48
5.4.2 Plano de amostragem dupla .....	48
5.4.3 Plano de amostragem múltipla .....	49
5.5 Classificação dos Planos de Amostragem .....	49
5.6 Observações Gerais .....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - O sistema de controle do processo.....	1
Figura 1.2 - Causas Comuns e Causas Especiais .....	4
Figura 1.3 - Processo sob controle: causas comuns.....	5
Figura 2.1 - Esquema geral dos gráficos de controle .....	9
Figura 2.2 - Procedimento para escolha do gráfico de controle .....	13
Figura 2.3 - Gráfico de pré-controle ou do farol .....	28
Figura 2.4 - Critérios de decisão do pré-controle .....	26
Figura 5.1 - Gráfico da função $L(p)$ .....	47
Figura 5.2 - Gráfico de CCO ideal.....	47

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1.1 - Causas comuns ou Aleatórias, Especiais ou Assimiláveis .....	4
Quadro 2.1 - Requisitos para a aplicação do pré-controle .....	26
Quadro 2.2 - Síntese das fórmulas dos gráficos de controle.....	32
Quadro 3.1 - Regras para decisão sobre estabilidade do processo.....	35
Quadro 3.2 - Interpretação do índice de capacidade do processo.....	38
Quadro 3.3 - Relação entre capacidade e controle do processo .....	39
Quadro 5.1 - Exemplo: níveis de qualidade, risco do produtor e risco do consumidor.....	46

# 1 INTRODUÇÃO AO CEP - CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO

## 1.1 A Metodologia do Controle da Qualidade e o CEP

O controle da qualidade de um processo produtivo envolve a realização das seguintes etapas consecutivas:

- definição de um padrão a ser atingido
- inspeção (medir o que foi produzido e comparar com o padrão)
- diagnóstico das não-conformidades (descrição do desvio entre o que foi produzido e o padrão)
- identificação das causas dos não-conformidades/defeitos
- ação corretiva para eliminação das causas
- atualização dos padrões (produto ou processo)

O CEP, tradicionalmente, é uma ferramenta com base estatística, de auxílio ao controle da qualidade nas etapas do processo, particularmente no caso de processo de produção repetitivo. A figura 1 mostra um esquema de controle do processo, destacando a presença das técnicas de controle da qualidade, que inclui o CEP.

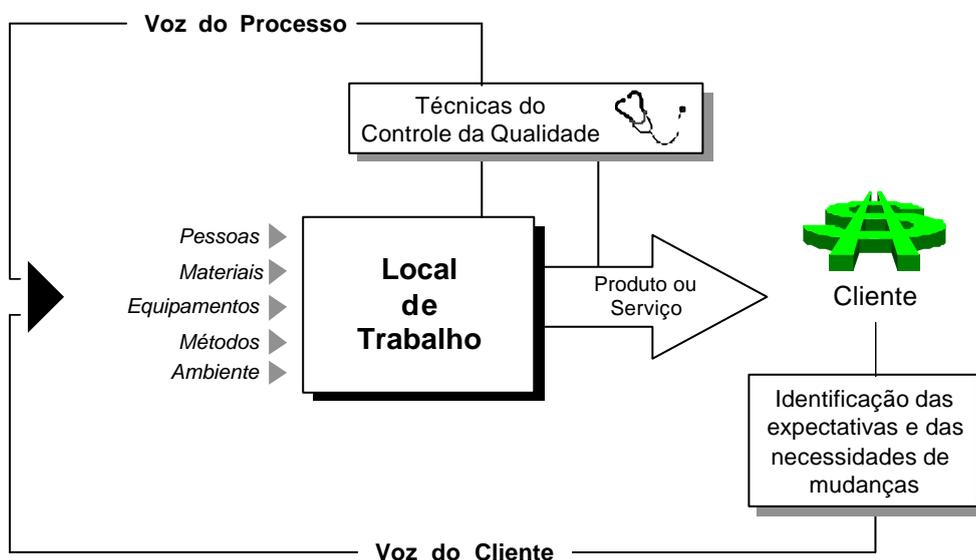


Figura 1.1 - O sistema de controle do processo

### 1.1.1 A visão moderna de CEP

Hoje, mais do que uma ferramenta estatística, o CEP é entendido como uma filosofia de gerenciamento (princípios de gerenciamento) e um conjunto de técnicas e habilidades, originárias da Estatística e da Engenharia de Produção, que visam garantir a estabilidade e a melhoria contínua de um processo de produção.

Em resumo, visa o **controle e a melhoria do processo**.

Os **princípios fundamentais** para implantação e gerenciamento do CEP são:

- pensar e decidir baseado em dados e fatos;
- pensar separando a causa do efeito, buscar sempre conhecer a causa fundamental dos problemas;
- reconhecer a existência da variabilidade na produção e administrá-la;
- usar raciocínio de prioridade (Pareto);
- girar permanente e metodicamente o ciclo de controle (Ciclo PDCA: Plan, Do, Check, Action), visando a melhoria contínua do desempenho;
- definir o próximo processo/etapa/posto de trabalho como cliente da etapa anterior. O cliente define a qualidade esperada;
- identificar instantaneamente focos e locais de disfunção e corrigir os problemas a tempo;
- educar, treinar e organizar a mão de obra visando uma administração participativa e o auto controle.

As principais técnicas de apoio ao CEP são:

- Amostragem (Inspeção, Planos de Amostragem)
- Folha de Verificação
- Histograma/Gráficos
- Diagrama de Pareto
- Diagrama de Causa e Efeito/6M/Espinha de Peixe
- Estratificação
- Gráficos de Controle (Gráficos de Shewhart)
- Diagrama de Correlação

Atualmente a inovação fundamental em relação ao CEP é que esses princípios e técnicas devem ser compreendidos, e aplicados, por todas as pessoas da organização e não apenas pelos técnicos e engenheiros da área de Qualidade.

## 1.2 Por Que Controlar o Processo?

Porque, do processo de produção, podem resultar itens (produtos) não-conformes/defeituosos ou a porcentagem de defeituosos pode variar ao longo do tempo.

O que causa a produção de defeituosos é a existência de variação nos materiais, nas condições do equipamento, nos métodos de trabalho, na inspeção, nas condições da mão de obra, e em outros insumos, etc.

A variação que ocorre num processo de produção pode ser desmembrada em duas componentes: uma de difícil controle, chamada variação aleatória; e outra chamada variação controlável.

Assim a equação da variação total de um processo pode ser escrita como sendo:

$$\text{variação total} = \text{variação aleatória} + \text{variação controlável}$$

Se as variações forem conhecidas, controladas e reduzidas, os índices de produtos defeituosos certamente se reduzirão. Esses dois tipos de variação exigem esforços e capacitação, técnica e gerencial, diferenciados para o seu controle.

O CEP auxilia na identificação e priorização das causas de variação da qualidade (separação entre as poucas causas vitais e as muitas triviais) e tem o objetivo de controlar ou eliminar (aprisionamento) as causas fundamentais dos defeitos.

Os defeitos podem ser separados em:

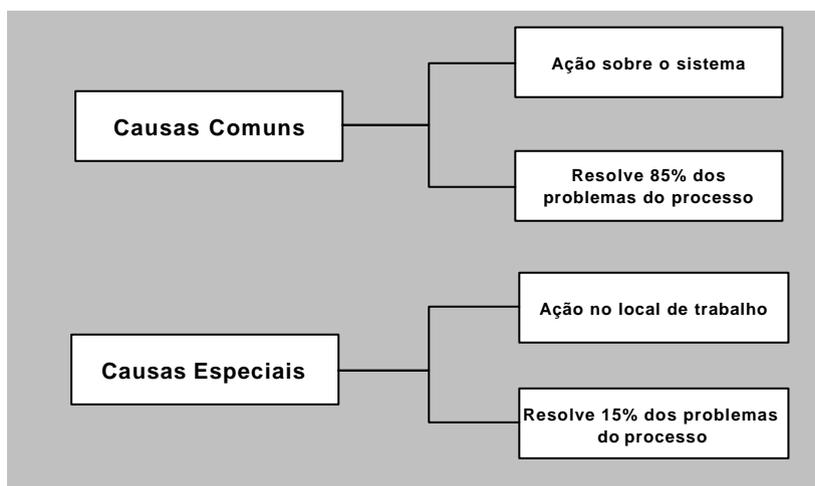
- defeitos crônicos (são inerentes ao próprio processo, estão sempre presentes);
- defeitos esporádicos (representam desvios em relação ao que o processo é capaz de fazer, são mais facilmente detectáveis).
- As causas de variação podem ser separadas em:
- causas comuns ou aleatórias (são inerentes ao próprio processo, são relativamente difíceis de serem identificadas, consistem num número muito grande de pequenas causas);

- causas assinaláveis ou especiais (representam um descontrole temporário do processo, são possíveis de serem identificadas e corrigidas, as causas e os efeitos são facilmente observáveis).

Observe o Quadro 1.1 e a Figura 1.1.

**Quadro 1.1- Causas Comuns ou Aleatórias, Especiais ou Assinaláveis**

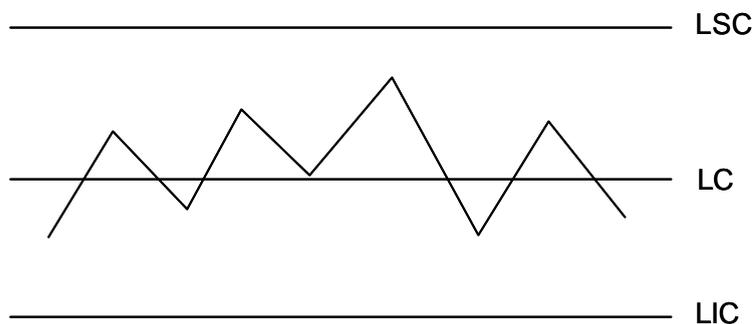
<b>Comuns ou Aleatórias</b>	<b>Especiais ou Assinaláveis</b>
1. São inerentes ao processo e estão sempre presentes	1. São desvios do comportamento "normal" do processo. Atuam esporadicamente.
2. Muitas pequenas causas que produzem individualmente pouca influência no processo	2. Uma ou poucas causas que produzem grandes variações no processo.
3. Sua correção exige uma grande mudança no processo. Justificável economicamente mas nem sempre.	3. Sua correção é, em geral, justificável e pode ser feita na própria linha
4. A melhoria da qualidade do produto, quando somente causas comuns estão presentes, necessita de decisões gerenciais que envolvem investimentos significativos	4. a melhoria da qualidade pode, em grande parte, ser atingida através de ações locais que não envolvem investimentos significativos
5. São exemplos: treinamento inadequado, produção apressada, manutenção deficiente, equipamento deficiente, etc.	5. São exemplos: máquina desregulada, ferramenta gasta, oscilação temporária de energia, etc.



**Figura 1.1 Causas Comuns e Causas Especiais**

O controle do processo prevê a identificação e priorização das causas da variação da qualidade e visa a eliminação das causas fundamentais.

Quando a variabilidade de um processo é devida somente a causas comuns, ele é suficientemente estável para predizermos sua qualidade, comportamento e resultados. E assim dizemos que o processo está sob controle e tem um comportamento previsível. Vide figura 1.2.



**Figura 1.2** Processo sob controle: causas comuns

LSC = Limite Superior de Controle  
 LIC = Limite Inferior de Controle

LC = Linha Central

### 1.2.1 Controle do processo e ciclo PDCA

É importante observar que o conceito tradicional de controle se aproxima de idéias como: inspeção, verificação, supervisão, coerção, etc. Já o conceito moderno se aproxima de idéias como administração, gerenciamento e aperfeiçoamento.

Controlar um processo significa:

- conseguir manter ESTÁVEL o desempenho do processo, ou seja, estabilizar os resultados e causas de variação do processo; e
- buscar MELHORAR o desempenho do processo através da eliminação de causas que afetam as várias características de controle do processo que está sendo gerenciado.

O controle, na sua vertente que busca ESTABILIZAR e manter uma rotina do processo visa estabelecer e melhorar continuamente um sistema de padrões, atuando nas

causas fundamentais de problemas detectados pela observação de características de controle previamente selecionadas. Portanto, visa obter um processo mais estável e previsível.

Na sua vertente de busca de MELHORIA o controle visa:

- estabelecer um plano e uma meta de aperfeiçoamento voltados para problemas prioritários dentro dos objetivos da empresa;
- implementar o plano de melhoria;
- atuar nos desvios do plano de forma a garantir que se atinja a meta.

A melhoria visa obter um processo cada vez mais competitivo através de uma melhoria contínua do desempenho.

### 1.2.2 O ciclo PDCA de controle

O ciclo PDCA é um método gerencial auxiliar na busca da estabilização, bem como da melhoria do processo.

O controle do processo deve ser realizado de forma sistemática e padronizada. Para tanto, todas as pessoas, de todos os escalões da empresa, podem utilizar o mesmo método gerencial denominado Ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Action) composto das quatro fases básicas do controle: planejar, executar, verificar e atuar corretivamente. Individualmente nenhuma dessas fases constitui o controle. O controle efetivo é obtido pela seqüência e pelo giro metódico dessas quatro fases. É, portanto, um ciclo contínuo que se inicia e termina com o planejamento.

### 1.2.3 Benefícios dos gráficos de controle

Os gráficos de controle são instrumentos simples que permitem ao processo atingir um estado de controle estatístico (estado do processo em que estão presentes somente causas comuns de variação).

Podem ser aplicados pelos próprios operários, que poderão discutir com os supervisores, engenheiros e técnicos através da linguagem dos dados fornecidos pelos gráficos de controle obtendo, assim, as informações necessárias para decidirem quando e que tipo de ações podem ser tomadas para se corrigir e prevenir problemas no processo.

Os gráficos de controle servem para monitoramento do processo, mostrando a ocorrência de um descontrole (presença de causas especiais) e/ou a tendência dessa

ocorrência, evitando as frustrações e os custos de interferências (correções) inadequadas sobre o processo.

Ao melhorar o processo os gráficos de controle permitem:

- aumentar a porcentagem de produtos que satisfaçam exigências dos clientes;
- diminuir os índices de retrabalho dos itens produzidos e, conseqüentemente, dos custos de produção;
- aumentar a produtividade.

### 1.3 Observações sobre o CEP

O objetivo maior na implantação do CEP é atingir um estado de atitude e comportamento, do pessoal de linha e gerencial, voltado continuamente para a melhoria do processo, o que é conhecido como KAIZEN, termo japonês para aperfeiçoamento contínuo (melhoria contínua).

Os conceitos e as técnicas estatísticas são importantes para o CEP, mas devem ser vistos apenas como auxiliares. O mais importante é desenvolver uma nova cultura na empresa (cultura para produzir com qualidade) que permita a motivação e a cooperação de todos na busca da melhoria contínua de todo o processo. Sem essa nova cultura as técnicas têm pouco efeito significativo. É a nova cultura que propiciará as condições básicas para se extrair o máximo da potencialidade das técnicas estatísticas. Essa nova cultura passa fundamentalmente pela melhoria no nível de educação e de motivação da mão de obra.

A falta de visão sobre a necessidade de se criar um novo tipo de comportamento e de relações de trabalho, adequadas ao CEP, explica muitos dos casos de implantação mal sucedidas nas empresas brasileiras.

Nessa nova cultura a gerência deve ter como meta delegar o controle rotineiro do processo para o próprio pessoal de linha (isso supõe treinar, organizar e oferecer meios/recursos para o pessoal de produção) e procurar se concentrar nos problemas crônicos, nas mudanças de tecnologias, nos projetos de melhorias, etc. Ou seja, "a gerência não deve ficar apagando incêndios, mas deve estudar formas de eliminar, permanentemente, as causas do incêndio".

Nesse ambiente a implantação do ciclo PDCA de gerenciamento, em todos os níveis da empresa, seguida da delegação e descentralização do controle, permite liberar o

tempo das gerências e da alta administração para os projetos de melhoria (do processo, da qualidade do produto, etc.) que tornam a empresa mais competitiva. Facilita também a implementação de novos paradigmas da gestão da qualidade:

**"FAZER CERTO DA PRIMEIRA VEZ"**

**"AUTO CONTROLE"**

**"MELHORIA CONTÍNUA"**

## 2 GRÁFICOS DE CONTROLE

### 2.1 Esquema Geral dos Gráficos de Controle

A construção dos gráficos de controle, também chamados de gráficos de Shewhart, obedecem a um esquema geral que é adaptado a cada caso (Fig. 2.1).

Envolve registros cronológicos regulares de uma ou mais características calculadas a partir de amostras obtidas da produção. Estes valores são plotados, pela ordem cronológica, em um gráfico que possui uma linha central e dois limites, chamados limites de controle.

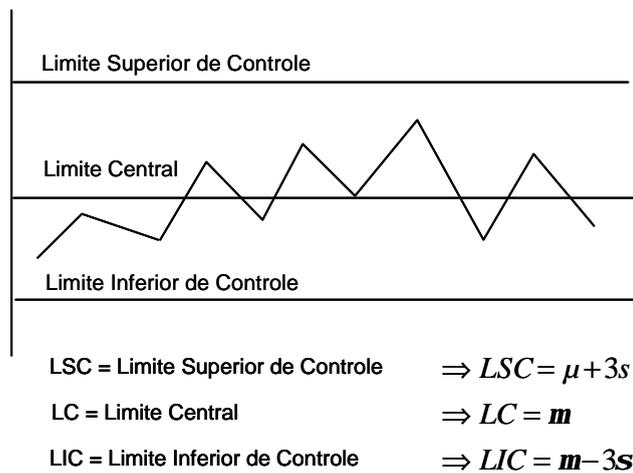


Figura 2.1 - Esquema geral dos gráficos de controle

### 2.2 Tipos de Gráficos de Controle

Existem dois tipos básicos de gráficos de controle

- gráficos de variáveis
- gráficos de atributos

Dentro de cada tipo básico algumas variantes também são utilizadas. São elas:

#### 2.2.1 Gráficos de Variáveis

São utilizados quando as amostras podem ser representadas por unidades quantitativas de medida (peso, altura, comprimento, etc).

Os gráficos de controle por variáveis podem ser:

( $\bar{X}$  e **R**): são os gráficos da média e da amplitude. São os mais usados. Os gráficos de  $\bar{X}$  e de **R** se complementam, devendo ser implementados simultaneamente. O gráfico  $\bar{X}$  objetiva controlar a variabilidade no nível médio do processo e qualquer mudança que ocorra nele. É muito importante também verificar a dispersão de um processo que pode sofrer alterações devido às causas assinaláveis. Este aumento da variabilidade será detectado pelo gráfico **R** das amplitudes.

( $\tilde{X}$  e **R**): são os gráficos da mediana e da amplitude. Em algumas circunstâncias o gráfico  $\bar{X}$  é substituído pelo gráfico de  $\tilde{X}$  ou gráfico das medianas. Assim como o gráfico de  $\bar{X}$ , o gráfico das medianas deve ser aplicado juntamente com o gráfico de **R** para as amplitudes. O gráfico ( $\tilde{X}$  e **R**) é uma alternativa ao gráfico de ( $\bar{X}$  e **R**). Por sua facilidade de aplicação pode ser usado para amostras pequenas ( $n = 5$ ), mas não recomendado para amostras grandes ( $n = 7$ ) para os quais é ineficiente, apresentando risco de erro no cálculo das medianas amostrais.

(**X**, **R**): gráficos de valores individuais e da amplitude. Em alguns casos pode ser mais conveniente controlar o processo baseado em leituras individuais do que em amostras. Isto ocorre particularmente quando a inspeção e a medida são caras, o ensaio for destrutivo ou quando a característica que se está sendo examinada for relativamente homogênea (tal como o pH de uma solução química).

**gráficos de pré-controle:** esse gráfico é baseado nos limites de especificação do produto e nos limites naturais de variação do processo.

Neste caso o objetivo é detectar, de forma rápida, mudanças significativas no processo através de um sistema rápido, econômico e que pode ser utilizado pelo próprio operador, enriquecendo o conteúdo de seu trabalho.

Entretanto, a aplicação do pré-controle não é imediata. Ela exige “a priori” que o processo atenda obrigatoriamente a alguns requisitos, como será visto mais adiante, tais como de elevada capacidade do processo.

### 2.2.2 Gráficos de Atributos

Existem situações em que as características da qualidade não podem ser medidas numericamente. Por exemplo, uma lâmpada é classificada como “funciona” ou “não funciona”. Ou seja, existem casos em que as características da qualidade são mais bem representadas pela presença ou ausência de um atributo, e não por alguma medição.

Em geral, os gráficos de atributo são utilizados nas seguintes situações:

- i - quando o número de características a controlar em cada produto é muito grande;
- ii - em lugar de mensurações convém empregar calibradores do tipo passa não- passa;
- iii - o custo de mensuração é elevado em relação ao custo da peça;
- iv - a verificação da qualidade pode ser feita por simples inspeção visual.

Os principais tipos de gráficos de atributo são:

- **gráficos de p:** para o controle da proporção de unidades defeituosas em cada amostra;
- **gráficos de np:** para o controle do número de unidades defeituosas por amostra;
- **gráficos de c:** para o controle do número de defeitos por amostra;
- **gráficos de u:** para o controle do número de defeitos por unidade de produto.

Para a utilização dos gráficos de atributos, deve-se escolher as características principais ou mais significativas como geradoras de defeitos no produto. É recomendado a aplicação de gráficos de Pareto para determinação das características mais importantes.

### 2.3 Construção dos Gráficos de Controle

Independentemente do tipo de gráfico que será utilizado é necessário seguir etapas preparatórias para sua aplicação, que são:

1. Conscientização e treinamento das pessoas envolvidas no processo;
2. Definição do processo e sua interação com as demais operações;
3. Escolha das características da qualidade a serem controladas;
4. Definição de um sistema de medidas para as características;
5. Escolha dos pontos do processo em que serão efetuadas as medidas.

Uma vez realizada a fase preparatória, a elaboração dos gráficos segue os seguintes passos:

1. Escolha do tipo de gráfico a ser utilizado;
2. Coleta dos dados;

3. Escolha dos limites de controle;
4. Cálculo da linha central e dos limites de controle;
5. Observação do estado (estabilidade) do processo mediante interpretação dos gráficos;
6. Determinação da capacidade do processo após ser atingido o estado de controle.

#### 2.3.1 Escolha do tipo de gráfico a ser utilizado

A escolha do tipo de gráfico a ser utilizado depende da característica a ser analisada e controlada.

Sendo esta característica uma magnitude (peso, altura, largura, comprimento, etc.), os gráficos utilizados poderão ser: para valores individuais, os ( $\bar{X}$  e R) ou ( $\tilde{X}$  e R).

Quando a característica da qualidade não pode ser medida numericamente, por exemplo quando se utiliza dispositivos passa não-passa, estas características são denominadas de atributos.

Se a característica da qualidade for um atributo, os gráficos p (ou np) e c (ou u) devem ser utilizados.

O fluxograma da Figura 2.2 mostra um esquema para a escolha do melhor gráfico a ser utilizado.

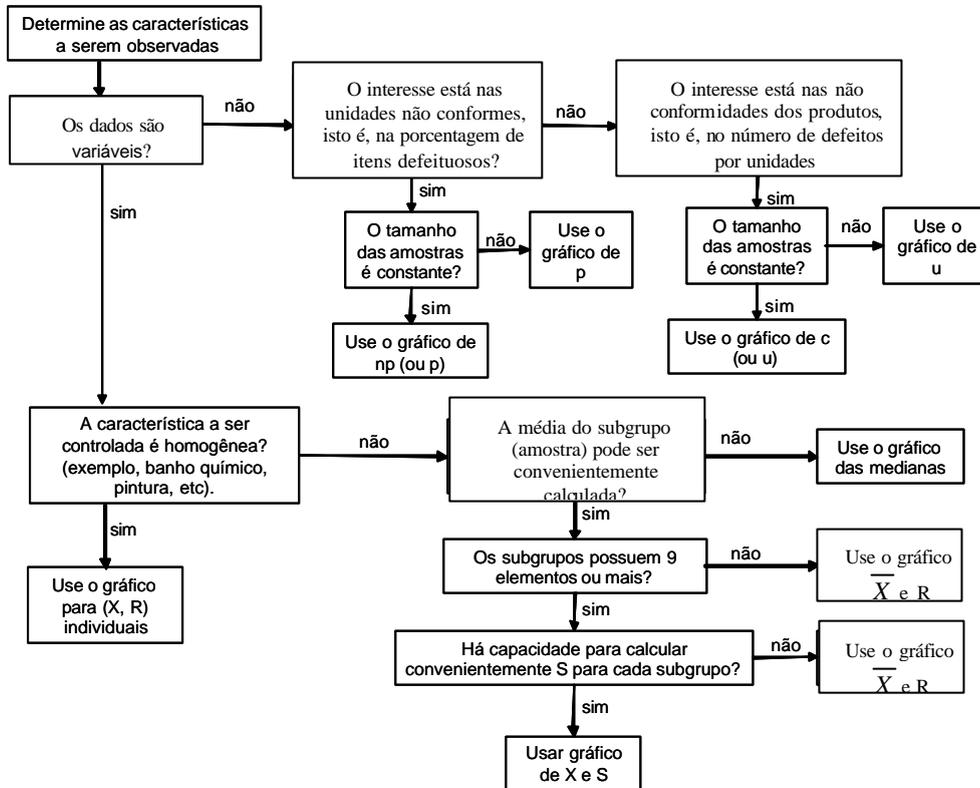


Figura 2.2 - Procedimento para escolha do gráfico de controle

2.3.2 Coleta de dados

Antes de se realizar a coleta de dados é necessário escolher o tamanho da amostra, também chamada de subgrupos racionais, assim como a frequência da amostragem e o número de amostras a serem coletadas.

Esta escolha depende do tipo de gráfico, da fase de aplicação, de considerações econômicas, etc.

Na amostragem é fundamental escolher amostras que representem subgrupos de itens que sejam o mais homogêneo possível, visando ressaltar diferenças entre os subgrupos. Isso objetiva, caso estejam presentes, fazer com que as causas assinaláveis/especiais se manifestem através das diferenças entre os subgrupos.

### 2.3.3 Formação de Subgrupos Racionais

Nos gráficos de controle, normalmente os pontos plotados são valores representativos de uma amostra e não de observações individuais devido a:

- as médias são menos dispersas que observações individuais, indicando, assim, perturbações com um maior grau de discriminação que no caso das observações individuais;
- muitas vezes a distribuição das observações individuais não é normal, mas a distribuição da média vai se aproximar da normal à medida que o número de elementos da amostra aumenta (para  $n \geq 4$  já aparece a normalidade).

As amostras devem ser formadas pelo que se chama de subgrupos racionais.

Isso permite que:

- dentro de cada amostra as variações possam ser atribuídas ao acaso; e
- entre as amostras as causas de variação sejam identificáveis.

Para tanto alguns cuidados devem ser tomados:

- as observações dos subgrupos racionais deverão ser do mesmo lote de produção, com matéria prima de mesmo fornecedor ou produzidos na mesma máquina e apenas por um funcionário. Garante-se, assim, que os valores das amostras sejam homogêneos quanto a origem;
- obedecer a ordem cronológica, assim sendo consegue-se obter informações do processo ao longo do tempo;
- as observações devem ser feitas junto à linha de produção.

### 2.3.4 Escolha dos limites de controle

A decisão sobre os limites de controle deve ser tomada com base, essencialmente, em fatores econômicos. Os limites  $3\sigma$  são bastante usados, mas há situações onde é necessário aplicar outros critérios.

Exemplo: quando ocorre um sinal de falta de controle em um processo sob controle e é difícil ou caro de se investigar, seria mais viável ampliar os limites para, por exemplo,  $3,5\sigma$  ou  $4\sigma$  se for necessário. Por outro lado se a investigação for rápida e economicamente viável e o custo de produção de itens defeituosos for alto, limites mais estreitos (como por exemplo  $2\sigma$ ) poderão ser utilizados.

## 2.4 Cálculo da linha central e dos limites de controle

O cálculo dos limites deverá ser considerado caso a caso, para cada tipo de gráfico e suas variantes.

### 2.4.1 Gráficos de Atributos

#### A) Gráficos p

A fração de defeituosos  $p'$  é definida como:

$$p' = \frac{\text{número de itens não conformes da amostra}}{\text{número de itens da amostra}}$$

**Tamanho da amostra:** Teoricamente o gráfico p só deve ser empregado para amostras com um número  $n$  de elementos maior que  $10/p$ . Na prática é comum adotar-se  $n > 5/\bar{p}$ . Deve-se tomar pelo menos  $K = 25$  amostras.

#### Limites de Controle

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^k p'_i}{k}$$
$$LSC = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$
$$LM = \bar{p}$$
$$LIC = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

onde:

$\bar{p}$  = fração média de defeituosos na amostra

$n$  = tamanho da amostra

O exemplo que segue mostra a construção do gráfico de p.

**EXEMPLO**  
**GRÁFICO DE P**

**Tamanho da amostra n = 50**

<b>AMOSTRA</b>	<b>NÚMERO DE DEFEITUOSO</b>	<b>FRAÇÃO DE DEFEITUOSOS</b>
1	12	0,24
2	15	0,30
3	8	0,16
4	10	0,20
5	4	0,08
6	7	0,14
7	16	0,32
8	9	0,18
9	14	0,28
10	10	0,20
11	5	0,10
12	6	0,12
13	17	0,34
14	12	0,24
15	22	0,44
16	8	0,16
17	10	0,20
18	5	0,10
19	13	0,26
20	11	0,22
21	20	0,40
22	16	0,36
23	24	0,48
24	15	0,30
25	9	0,18
26	12	0,24
27	7	0,14
28	13	0,26
29	9	0,18
30	8	0,12

### CONTINUAÇÃO DO EXEMPLO

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^{30} p'_i}{30} = \frac{6,94}{30} = 0,2313$$

### VERIFICAÇÃO PARA GRANDES AMOSTRAS

$$n \bar{p} = 50(0,2313) = 11,565 > 5$$

logo,

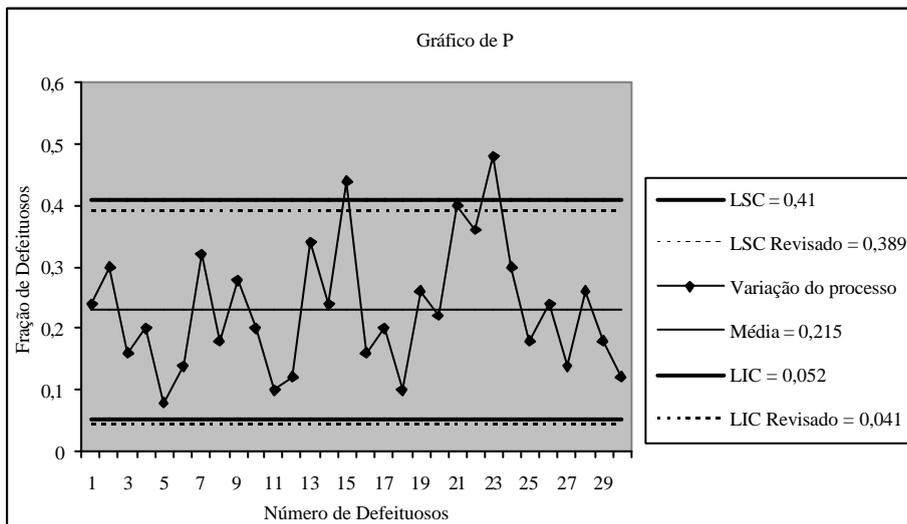
$$LC = \bar{p} = 0,2313$$

$$LSC = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$LSC = 0,2313 + 3 \sqrt{\frac{(0,2313)(0,7687)}{50}} = 0,410$$

$$LIC = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$LIC = 0,2313 - 3 \sqrt{\frac{0,2313 \cdot 0,7687}{50}} = 0,052$$



**LIMITES DE CONTROLE REVISADO  
OMITIR AMOSTRAS 15 E 23**

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^{28} p'_i}{28} = \frac{6,02}{28} = 0,215$$

$$LC = \bar{p} = 0,215$$

$$LSC = 0,215 + 3 \sqrt{\frac{0,215 \cdot 0,785}{50}}$$

$$LSC = 0,215 + 0,174$$

portanto,

$$LSC = 0,389 \quad e,$$

$$LIC = 0,215 - 0,174 \Rightarrow LIC = 0,041$$

**B) Gráficos de np**

**Limites de Controle**

$$LSC = n\bar{p} + 3 \sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

$$LM = n\bar{p}$$

$$LIC = n\bar{p} - 3 \sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

**C) Gráfico c**

As vezes uma unidade do produto pode apresentar mais de um defeito e tem-se o interesse em controlar o número de defeitos por amostra: representado pela letra “c”. Esse controle é conveniente quando as amostras têm o mesmo tamanho. Exemplos são não-conformidades físicas tais como irregularidades de superfície, falhas ou orifícios em produtos contínuos ou extensos como fio, papel, têxteis, materiais laminados, etc.

**Limites de controle:**

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^k c_i}{k}$$

$$LSC = \bar{c} + 3 \sqrt{\bar{c}}$$

$$LM = \bar{c}$$

$$LIC = \bar{c} - 3 \sqrt{\bar{c}}$$

onde c = número de defeitos por amostra

Observe o exemplo a seguir:

**EXEMPLO**  
**GRÁFICOS DE C**

---

AMOSTRA	Nº DE DEFEITOS
1	21
2	24
3	16
4	12
5	15
6	05
7	28
8	20
9	31
10	25
11	20
12	24
13	16
14	19
15	10
16	17
17	13
18	22
19	18
20	39
21	30
22	24
23	16
24	19
25	17

---

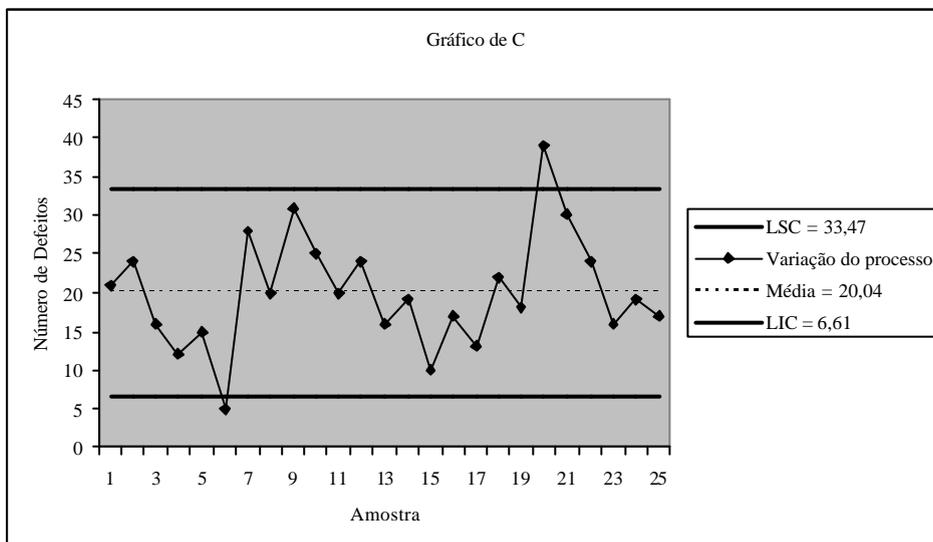
**Nº TOTAL DE DEFEITOS = 21 + 24 + ... 17 = 501**

$$\bar{C} = \frac{501}{25} = 20,04$$

$$LSC = 20,04 + \sqrt{20,04} = 33,47$$

$$LIC = 20,04 - 3\sqrt{20,04} = 6,61$$

Portanto, o gráfico de C plotado no Excel pode ser observado a seguir:



#### D) Gráficos de u

O gráfico dos números de defeitos por unidade de produto (u) é adequado quando várias não-conformidades independentes podem ocorrer em uma unidade do produto. Isto é provável em produtos que resultam de montagens complexas tais como: automóveis, televisores, microcomputadores. A estimativa do número médio de defeitos por unidade de produto é:

$$\bar{u} = \frac{\text{número de não - conformidades em todas as amostras}}{\text{número total de itens observados}}$$

n = tamanho da amostra

#### Limites de Controle

$$LSC = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/n}$$

$$LM = \bar{u}$$

$$LIC = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/n}$$

#### 2.4.2 Gráficos de Variáveis

##### A) gráfico ( $\bar{X}$ e R)

Para o cálculo dos limites de controle dos gráficos ( $\bar{X}$  e R) é necessário coletar 20 ou (25) subgrupos (amostras) de 5 ou (4) itens. Aproximadamente 100 dados. Em seguida calcular a média das médias amostrais ( $\bar{\bar{X}}$ ) e a média das amplitudes (R):

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\text{soma das médias amostrais}}{\text{número de amostras}}$$

$$\bar{R} = \frac{\text{soma das amplitudes amostrais}}{\text{número de amostras}}$$

##### limites de controle para as médias:

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$$

$$LM_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$$

##### limites de controle para as amplitudes:

$$LSC_R = D_4\bar{R}$$

$$LM_R = \bar{R}$$

$$LIC_R = D_3\bar{R}$$

OBS: os valores de  $A_2$ ,  $D_4$ ,  $D_3$  serão encontrados na tabela do Anexo I.

Observe o exemplo a seguir.

**EXEMPLO GRÁFICO ( $\bar{X}$  e R)**

**DADOS DE ANÉIS DE PISTÃO FORJADOS**

Nº DA AMOSTRA	OBSERVAÇÕES					$\bar{X}$	R
1	74.030	74.002	74.019	73.992	74.008	74.010	0.038
2	73.995	73.992	74.001	74.011	74.004	74.001	0.019
3	73.998	74.024	74.021	74.005	74.002	74.008	0.036
4	74.002	73.996	73.993	74.015	74.009	74.003	0.022
5	73.992	74.007	74.015	73.989	74.014	74.003	0.026
6	74.009	73.994	73.997	73.985	73.993	73.996	0.024
7	73.995	74.006	73.994	74.000	74.005	74.000	0.012
8	73.985	74.003	73.993	74.015	73.988	73.997	0.030
9	74.008	73.995	74.009	74.005	74.004	74.004	0.014
10	73.998	74.000	73.990	74.007	73.995	73.998	0.017
11	73.994	73.998	73.994	73.995	73.990	73.994	0.006
12	74.004	74.000	74.007	74.000	73.995	74.001	0.011
13	73.983	74.002	73.998	73.997	74.012	73.998	0.029
14	74.006	73.967	73.994	74.000	73.984	73.990	0.039
15	74.012	74.014	73.998	73.999	74.007	74.006	0.016
16	74.000	73.984	74.005	73.998	73.996	73.997	0.021
17	73.994	74.012	73.986	74.005	74.007	74.001	0.026
18	74.006	74.010	74.018	74.003	74.000	74.007	0.016
19	73.984	74.002	74.003	74.005	73.997	73.998	0.021
20	74.000	74.010	74.013	74.020	74.003	74.009	0.020
21	73.988	74.001	74.009	74.005	73.996	73.996	0.033
22	74.004	73.999	73.990	74.006	74.009	74.002	0.019
23	74.010	73.985	73.990	74.009	74.014	74.002	0.025
24	74.015	74.008	73.993	74.000	74.010	74.005	0.022
25	73.982	73.984	73.995	74.017	73.996	73.998	0.035

$$\sum \bar{X} = 1850,024 \quad \sum R = 0,581$$

$$\bar{\bar{X}} = 74,001 \quad \bar{R} = 0,023$$

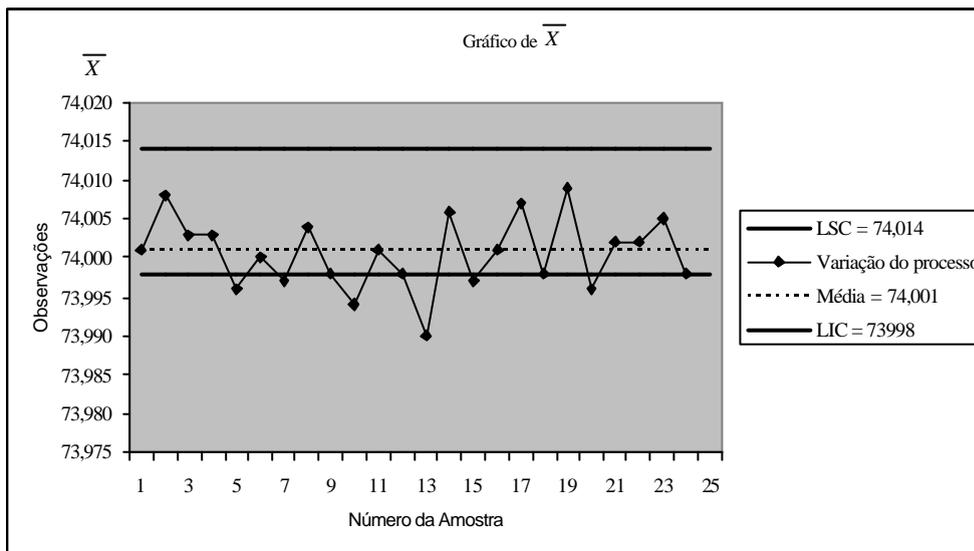
### GRÁFICO $\bar{X}$

LINHA CENTRAL :  $\bar{X} = 74,001$

$$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 74,001 + 0,577 \cdot 0,023 = 74,014$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 74,001 - 0,577 \cdot 0,023 = 73,998$$

Desse modo, pode-se plotar o gráfico de  $\bar{X}$  no Excel, o que resulta na seguinte figura:



### GRÁFICO R

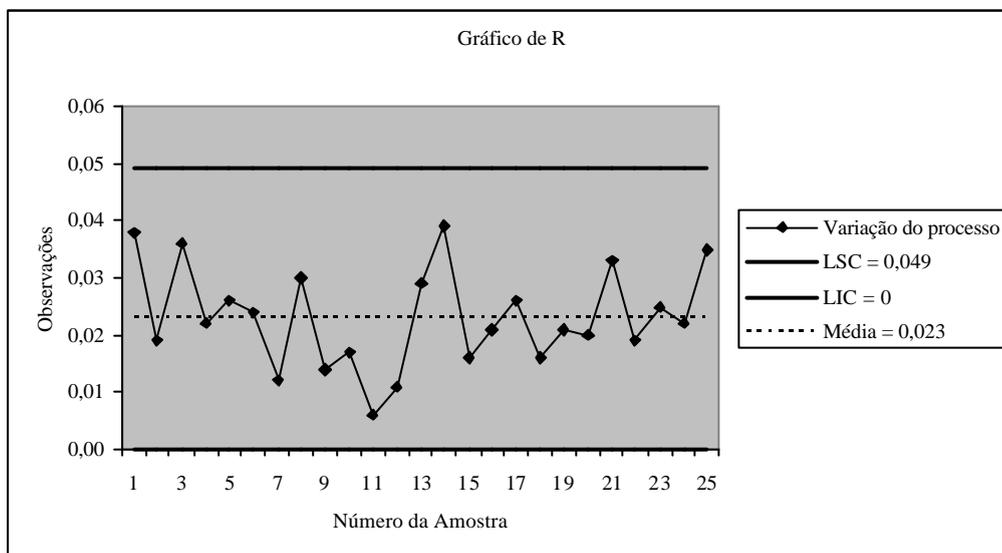
LINHA CENTRAL:  $\bar{R} = 0,023$

$LSC = D_4 \bar{R} = 2,114 \cdot 0,023 = 0,049$

$LIC = D_3 \bar{R} = 0 \cdot 0,023 = 0$

Do mesmo modo, a partir desses valores, o gráfico de R será:

+



#### B) Gráfico ( $\tilde{X}$ e R)

Para o cálculo dos limites de controle dos gráficos ( $\tilde{X}$  e R) é necessário calcular a média das medianas amostrais e a média das amplitudes:

$$\bar{\tilde{X}} = \frac{\text{soma das medianas amostrais}}{\text{número de amostras}}$$

$$\bar{R} = \frac{\text{soma das amplitudes amostrais}}{\text{número das amostras}}$$

**Limites de controle para  $\tilde{X}$  :**

$$LSC = \bar{\bar{X}} + \tilde{A}_2 \bar{R}$$

$$LM = \bar{\bar{X}}$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - \tilde{A}_2 \bar{R}$$

Os valores de  $\tilde{A}_2$  podem ser obtidos na tabela a seguir para n entre 2 e 10.

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\tilde{A}_2$	1,88	1,19	0,80	0,69	0,55	0,51	0,43	0,41	0,36

**Limites de controle para a amplitude:**

$$LSC = D_4 \bar{R}$$

$$LM = \bar{R}$$

$$LIC = D_3 \bar{R}$$

**2.5 Gráficos de Pré-controle**

2.5.1 Vantagens e Desvantagens do Pré Controle

As principais **vantagens** advindas do uso desse gráfico são:

- indica mudanças na centralização do processo;
- indica mudanças na dispersão do processo;
- assegura que a percentagem de não conformidades não ultrapasse níveis pré-determinados;
- não requer o registro, o cálculo, ou a marcação em gráfico dos dados observados;
- pode ser utilizado com atributos o mesmo com características visuais;
- pode ser empregado na fabricação de pequenos e grandes lotes;
- utiliza diretamente as tolerâncias da especificação, não sendo necessário o cálculo dos limites de controle;
- as instruções de utilização são simples e facilmente assimiláveis pelo pessoal da produção;
- apresenta uma redução no custo do controle;

Dentre as **desvantagens**, ressalta-se:

- deve-se ter certeza de que a tolerância natural do processo é menor que a tolerância da especificação. Além disso, deve-se ter certeza que a distribuição dos valores individuais é normal;
- a presença de causas especiais de variação (indicando uma condição fora de controle) não é detectada, a não ser que sejam gerados produtos fora de especificação;
- é muito mais uma inspeção de produto do que um controle do processo.

### 2.5.2 Requisitos para a Aplicação

A aplicação do pré-controle não é imediata, exigindo os seguintes requisitos:

- o processo (ou sistema) deve estar sob controle estatístico, ou seja, só apresentar variações aleatórias (causas comuns);
- o processo deve apresentar um índice de capacidade Cp maior que 1,33 (ou ICP maior ou igual a 150%). O Quadro 2.1 mostra alguns critérios para este tipo de consideração, preferencialmente.

Classe	A Cp ou Cpk maior que 1,33	B Cp ou Cpk entre 1 e 1,33	C Cp ou Cpk entre 0,75 e 0,99	D Cp ou Cpk menor que 0,75
Capacidade	excelente	capaz	relativamente incapaz	totalmente incapaz
freqüência de medição pelo operador	normal	normal	freqüente	100%
freqüência de medição pelo inspetor	rara	normal	freqüente	muito freqüente
gráfico de controle	opcional	opcional	necessário	necessário
pré-controle	recomendado	recomendado	não utilizado	não utilizado

**Quadro 2.1- Requisitos para a aplicação do pré-controle**

Além desses requisitos básicos relacionados, é necessário criar condições para que os resultados sejam corretos, visando adequação ao autocontrole, conforme segue:

#### *APLICABILIDADE DO PONTO DE VISTA TECNOLÓGICO DO PROCESSO*

O processo precisa ser de natureza tal que permita a clara definição das responsabilidades para a tomada de decisão. Geralmente, os processos mais simples são os mais indicados. Ex.: tornear, furar, etc.

#### *PROCESSO SOB CONDIÇÕES DE AUTOCONTROLE*

O processo deve conter os meios e condições para que o trabalhador possa:

- saber exatamente o que deve fazer e quais os resultados esperados;
- saber exatamente os resultados do que está fazendo;
- ajustar o processo quando houver divergências que sejam relevantes.

#### *TREINAMENTO DO OPERADOR*

Tanto para o controle do processo, como na tomada de decisões.

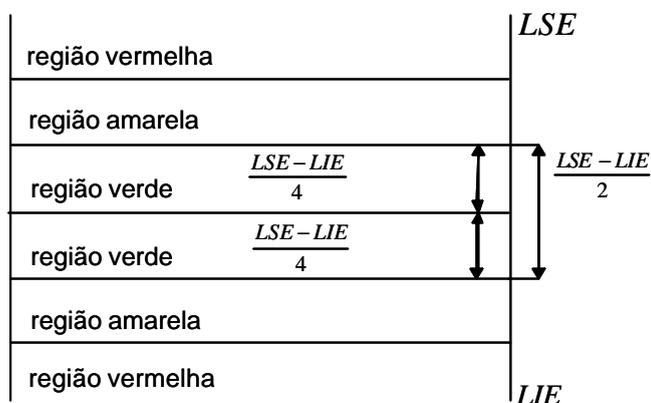
#### *CONFIANÇA MÚTUA*

Para a delegação ao operador da importante responsabilidade de decidir sobre a qualidade do produto e do trabalho.

### 2.5.3 Procedimento para Utilização do Pré-Controle

#### I. Construção do gráfico de pré-controle

Consiste em dividir a amplitude da tolerância de especificação em três “zonas” diferentes, traçando as linhas de pré-controle, conforme a Figura 2.3. Devido à divisão em regiões (aceitação, alerta e rejeição) este gráfico é conhecido como gráfico do farol.



**Figura 2.3 - Gráfico de pré-controle ou do farol**

A zona central (de aceitação, região verde) compreende metade da tolerância total e 86% da área da curva da distribuição normal. Em outras palavras, a probabilidade de um valor qualquer cair na zona de aceitação é 0,86. Conseqüentemente, a chance de se ter um valor caindo nas zonas laterais (região de alerta ou de rejeição), que compreendem juntas a outra metade da tolerância total de especificação, será 0,14.

II. Critérios para utilização

*PROCEDIMENTO DE AJUSTAGEM DO PROCESSO*

Ajuste a máquina (set-up) e inspecione as peças que estão sendo produzidas. A ajustagem só é considerada correta quando 5 (cinco) peças consecutivas estiverem na região de aceitação (verde).

*PROCEDIMENTO DE UTILIZAÇÃO<sup>1</sup>*

Os seguintes passos devem ser seguidos:

- i - Verifique 2 peças consecutivas. Se ambas estiverem na região de aceitação continue normalmente a produção.
- ii - Se pelo menos uma peça estiver na região de rejeição (vermelha), é necessário tomar providências de ações corretivas. Selecione as peças produzidas. Quando as correções forem realizadas (seguindo procedimento de preparação de ajustagem do processo), volte ao passo "i".

<sup>1</sup> Durante a produção, ou seja, após iniciar a produção

iii - Se uma ou duas peças estiverem na região de alerta (amarela), verifique mais três peças. Siga os seguintes critérios:

- a) Se pelo menos 3 (três) peças estiverem na região de aceitação, e nenhuma na região de rejeição, continue normalmente a produção;
- b) Se pelo menos 3 (três) peças estiverem na região de alerta providencie as ações corretivas. Quando os devidos ajustes forem feitos (segundo procedimento de ajuste do processo) volte ao passo "i";
- c) Se qualquer peça estiver na região de rejeição, deve-se realizar novos ajustes do processo de acordo com o procedimento de ajuste. Após o ajuste volte ao passo "i".
- d) Qualquer outra condição diferente das três anteriores, deve-se proceder ao ajuste do processo;
- e) Frequência de medição: meça (inspecione) em torno de 6 pares de itens (peças) entre cada ajuste do processo. O tempo entre medições em minutos é igual ao tempo entre ajustes em horas x 10. Ou seja:

$$TM_{\text{minutos}} = TA_{\text{horas}} \times 10$$

O fluxograma da Figura 2.4 ilustra, de forma esquemática, a seqüência de ações para a utilização do gráfico de pré-controle.

Comentário: Troquei 2.2 por 2.4

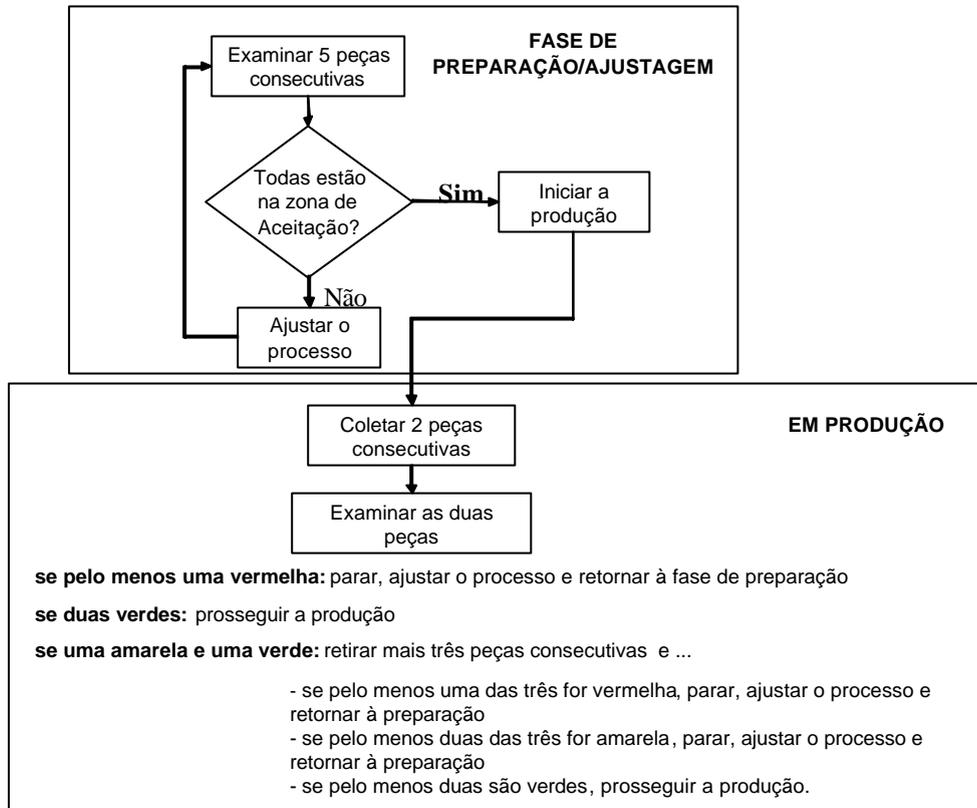


Figura 2.4 - Critérios de decisão do pré-control

Observação:

*Em todos os casos de necessidade de ajuste selecione as peças produzidas para facilitar a análise do processo (peças produzidas, matéria prima, ferramentas, etc.).*

## 2.6 Gráficos Para Valores Individuais e Amplitude

### 2.6.1 Vantagens dos gráficos (X-R)

As principais vantagens são:

- não há necessidade de se efetuar cálculos;
- não há necessidade de registro dos valores obtidos em documento à parte, pois todos estes são registrados diretamente no gráfico.

### 2.6.2 Desvantagens dos gráficos de (X-R)

Dentre as desvantagens podemos citar:

- é menos sensível a mudanças substanciais na média do processo<sup>2</sup>;
- a marcação dos valores é mais complicada, já que todos os valores devem ser plotados aumentando, assim, o risco de erros;
- continua existindo a necessidade de utilização de um segundo gráfico (R) para controle da dispersão do processo;
- não fornece claras evidências da presença de causas especiais de variação;
- a distribuição dos valores da característica de controle tem que ser normal.

### 2.6.3 Cálculo dos limites de controle

$$LSC = \bar{X} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$
$$LM = \bar{X}$$
$$LIC = \bar{X} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Os limites de controle para o gráfico das amplitudes continuam sendo calculados como anteriormente, ou seja:

$$LSC = D_4 \cdot \bar{R}$$
$$LM = \bar{R}$$
$$LIC = D_3 \cdot \bar{R}$$

Os valores de  $d_2$ ,  $D_3$  e  $D_4$  podem ser encontrados no Anexo I. A seguir, no Quadro 2.2, é apresentada uma síntese das fórmulas para cálculo dos gráficos de controle.

---

<sup>2</sup> *Observação:* esta desvantagem pode ser minimizada estreitando-se os limites de controle, ou seja utilizar  $2\sigma$  ao invés de  $3\sigma$ , por exemplo. No entanto, agindo desta forma aumenta-se a probabilidade de ocorrer falhas na indicação de falta de controle.

Quadro 2.2 - Síntese das fórmulas dos gráficos de controle

Tipo de gráfico	Limites de controle
gráfico da média	$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$ $LM = \bar{\bar{X}}$ $LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$
gráfico da amplitude	$LSC = D_4 \bar{R}$ $LM = \bar{R}$ $LIC = D_3 \bar{R}$
gráfico da mediana	$LSC = \bar{\tilde{x}} + \tilde{A}_2 \bar{R}$ $LM = \bar{\tilde{x}}$ $LIC = \bar{\tilde{x}} - \tilde{A}_2 \bar{R}$
gráfico de p	$LSC = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$ $LM = \bar{p}$ $LIC = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$
gráfico de np	$LSC = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$ $LM = n\bar{p}$ $LIC = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$
gráfico de c	$LSC = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$ $LM = \bar{c}$ $LIC = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$
gráfico de u	$LSC = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/n}$ $LM = \bar{u}$ $LIC = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/n}$
gráfico de valores individuais	$LSC = \bar{X} + 3\frac{\bar{R}}{d_2}$ $LM = \bar{X}$ $LIC = \bar{X} - 3\frac{\bar{R}}{d_2}$

### **3 ANÁLISE DE PROCESSOS: ESTABILIDADE E CAPACIDADE**

Sempre que se deseja introduzir o uso de um gráfico de controle, ou controlar um processo, deve-se analisar o processo quanto a sua estabilidade e capacidade. A estabilidade diz respeito a verificação da variabilidade do processo quanto a seu comportamento normal, e a capacidade verifica se o processo é capaz de atender a uma determinada especificação de projeto.

#### **3.1 Estabilidade de Processos**

Para facilitar a explicação será analisado o caso dos gráficos de variáveis contínuas. Para a verificação da estabilidade de um processo devem ser elaboradas pares de gráficos de controle (por ex. da média e da amplitude ou do desvio padrão) para cada característica de controle.

Os critérios usuais, apresentados pela bibliografia em geral, podem ser resumidos na seguinte frase: o processo é considerado estável quando os seus gráficos de controle não indicarem sinais de anormalidade ou presença de causas especiais. Desta forma, os processos sob controle apresentam gráficos “bem-comportados”, seguindo um padrão já conhecido.

O modelo de distribuição assumido para os gráficos de controle de variáveis contínuas é a distribuição normal. Logo, as condições de estabilidade do processo são aquelas esperadas do ponto de vista estatístico para esse tipo de distribuição. Mesmo tendo-se consciência de que alguns comportamentos não esperados poderiam ocorrer sem que isto signifique mudança do processo, como a sua probabilidade a priori de ocorrência é muito baixa, sempre que estes comportamentos aparecerem isto será interpretado como um sinal de instabilidade, ou seja, de processo fora de controle ou instável.

Sempre devem ser analisados os pares de gráficos (da média e da amplitude, ou da média e do desvio-padrão) para verificar se existem sinais de anormalidade.

As características de um padrão natural, estável, de um gráfico de controle podem ser resumidas em:

- a maioria dos pontos está próxima da linha média (cerca de 68% no intervalo de  $\pm 1 \sigma$  em torno da média) sem entanto existir concentração excessiva neste intervalo.
- Cerca de 95% dos pontos (19 em 20 pontos) estão contidos no intervalo  $\pm 2 \sigma$  em torno da média.
- Nenhum ponto cai fora dos limites de controle (pois a sua probabilidade é de apenas 0,27%).
- Os pontos vão se distribuindo mais ou menos igualmente acima e abaixo da média.
- Não se configuram tendências de aumento ou de diminuição sistemática. Por exemplo, a probabilidade de ocorrência de 7 pontos consecutivos acima da média é de 0,78 %. Logo, quando isto ocorrer, interpreta-se como uma tendência ao aumento da média.
- Não existem oscilações cíclicas.

O Quadro 3.1 apresenta as principais regras que indicam condições de instabilidade do processo.

Sempre que um processo apresentar algumas das situações representadas ele deve ser considerado instável. Assim, causas especiais de variação devem estar presentes e devem ser controladas/eliminadas antes de se analisar a capacidade do processo e se definir os limites do gráfico de controle a ser usado<sup>3</sup>.

As condições mostradas no Quadro 3.1 servem tanto para a análise do processo em sua fase de preparação do gráfico de controle quanto na própria fase de uso. Para o entendimento destas fases pode-se dizer: a fase de preparação contém as atividades de análise da estabilidade e da capacidade do processo, e a fase de utilização (ou de produção) é quando um gráfico de controle está disponível na fabricação para monitoramento do processo.

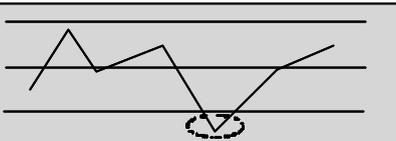
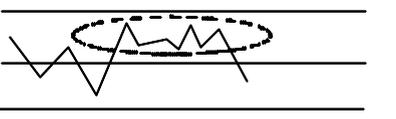
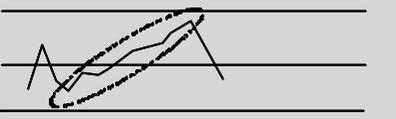
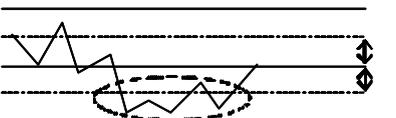
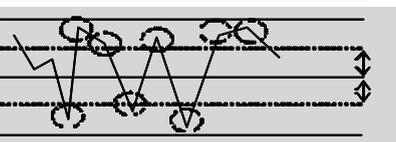
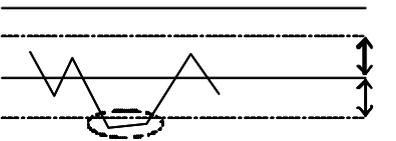
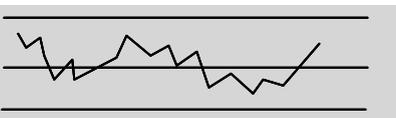
Quando um processo já foi considerado estável e capaz, e adotou-se um gráfico para monitorar uma ou mais de suas características, diz-se que o processo está “sob

---

<sup>3</sup> Observação: alguns autores sugerem o teste de hipótese de seqüências especialmente para verificar se houve aleatoriedade no processo de amostragem. O detalhamento desse método não faz parte dos objetivos deste texto.

controle estatístico”. Ou seja, existe um gráfico de controle, determinado com base na variabilidade do processo e na teoria da estatística e probabilidade, e poderá se perceber no mesmo um comportamento de instabilidade do processo quando na presença de causas especiais, indicando que ações corretivas devem ser tomadas no local de trabalho.

**Quadro 3.1- Regras para decisão sobre estabilidade do processo**

Um ou mais pontos situados fora dos limites de controle	
Seqüência de 6 ou mais pontos consecutivos acima ou abaixo da linha média	
Seqüência de 7 ou mais pontos consecutivos que aumentam ou diminuem consistentemente	
Em 5 pontos consecutivos, 4 estão situados do mesmo lado em relação à linha central e fora do intervalo de $\pm 1\sigma$ em torno da média	
Seqüência de 8 ou mais pontos consecutivos fora do intervalo de $\pm 1\sigma$ em torno da média, de qualquer lado	
Em 3 pontos consecutivos, 2 estão situados do mesmo lado em relação à linha central e fora do intervalo de $\pm 2\sigma$ em torno da média	
Existência de oscilações cíclicas	
<p><i>Outras:</i>  <i>10 em 11; 12 em 14; 14 em 17; 16 em 20</i>  <i>pontos consecutivos estão do mesmo lado da</i>  <i>linha média</i></p>	

Sempre que um processo mudar para melhor ou piorar, de forma consistente, os limites de controle existentes, calculados com os dados anteriores à mudança, deixam de ser representativos daquele “novo processo”. Desta forma, eles devem ser recalculados (atualizados) usando-se apenas os novos dados, com amostras retiradas do processo já modificado.

A estabilidade é condição inicial imprescindível para se utilizar o CEP. O estudo da capacidade do processo não deve ser levado à frente se essa condição não for atendida.

### **Cálculo dos limites de controle para estudo da estabilidade**

Para se calcular os limites de controle, devem-se levantar dados do processo, agrupá-los em amostras e calcular os parâmetros estatísticos. Esses passos foram detalhados quando do estudo dos gráficos de controle.

Após o cálculo dos limites dos gráficos, plotam-se os dados referentes a cada gráfico e avalia-se o comportamento dos pontos para verificar a estabilidade.

## **3.2 Capacidade do Processo**

### **3.2.1 Considerações iniciais**

Um produto de qualidade somente poderá ser obtido quando os processos de fabricação forem capazes de satisfazer de forma consistente a objetivos especificados. Quando os processos não satisfazem a essas exigências, o produto tem seu custo aumentado na forma de perdas, retrabalhos, etc.

Uma vez considerado estável o processo, sua capacidade pode ser avaliada.

O estudo da capacidade do processo requer que as condições operacionais normais do processo sejam mantidas durante a coleta de dados, ou seja, nenhuma intervenção não prevista/normal deve ser feita durante o estudo. Esse cuidado garante uma medida da variação natural do processo (inerente ao processo) usando um mínimo de amostras e um conseqüente mínimo tempo. Chama-se de variação natural do processo, a variabilidade observada nos seus produtos produzidos.

O conceito de capacidade do processo tem uma associação com a especificação do produto que o processo deve atender, ou seja, é a capacidade do processo produzir dentro das especificações de projeto do produto. Assim, a capacidade do processo é a

relação entre a sua variabilidade natural e a tolerância de especificação do projeto do produto. Com essa comparação, pode-se avaliar numericamente a capacidade do processo.

### 3.2.2 O caso dos atributos

Neste caso o estudo da capacidade de processo consiste na comparação do valor considerado aceitável (especificação) para o atributo em estudo com a média calculada para o atributo no processo que está sendo analisado. Por exemplo, no caso dos gráficos de controle da fração defeituosa ( $p$ ), o valor da média corresponde à média da percentagem de itens defeituosos. Essa porcentagem média do processo seria comparada com o valor de  $p$  especificado para o produto/lote. Essa comparação só pode ser realizada quando o processo estiver sob controle. É possível calcular também a probabilidade de se ter no processo uma fração de defeituosos maior do que a especificada, obtendo-se assim mais informações sobre a capacidade do processo. Por ex. Prob.( $P > P$  especificado).

### 3.2.3 Determinação dos limites naturais de tolerância de um processo: o caso de variáveis

A partir de agora, os parâmetros serão calculados com base em variáveis contínuas, pois o caso dos atributos se resume ao que foi comentado no item anterior.

O desvio padrão natural de um processo é a unidade de referência para a determinação do que pode ser chamada de tolerância natural de um processo ou **os limites naturais de tolerância de um processo**. O cálculo dessa tolerância não é uma constante em função do tempo, mas em um universo estático, ela pode ser calculada com facilidade, por meio de duas maneiras discutidas a seguir.

A primeira maneira consiste na retirada de um número determinado de elementos para compor uma amostra, calcular a média ( $\hat{\mu}$ ) e o desvio padrão ( $\hat{S}$ ). Esse método apresenta uma questão que é o fato do  $\hat{S}$  e da  $\hat{\mu}$  variarem ao longo do tempo. Isso faz com que após um certo período de produção se obtenha um desvio padrão que não representa o que foi chamado de desvio padrão natural do processo, pois pode ter havido variações de causa assinalável que não foi descoberta pelo operador, o que geraria um desvio padrão maior que o calculado inicialmente. Assim, ao longo do tempo seria melhor utilizar um desvio padrão que considerasse essas possíveis variações.

Assim, o segundo método, consiste na determinação do desvio padrão natural a partir das amplitudes das amostras que vem sendo coletadas na produção. A relação entre o desvio padrão e a média das amplitudes é dada por:  $s = \bar{R} / d_2$  onde  $d_2$  é um fator de correção que depende exclusivamente do tamanho (n) das amostras e é tabelado.

Obviamente os resultados obtidos pelos dois métodos poderão ser idênticos. Porém, em um ambiente produtivo, o segundo método é mais aconselhável por se eliminar a possibilidade de variabilidade assinalável que possa surgir.

A variabilidade natural ou o limite natural de tolerância do processo será o equivalente a  $6\sigma$ , ou seja o intervalo  $(\hat{m} - 3\hat{s} \cdot a \cdot \hat{m} + 3\hat{s} \mu - 3\sigma$  a  $m + 3\sigma)$ , o qual contém 99,73% da produção.

### 3.2.4 Índice de capacidade de um processo

Como já comentado, a capacidade pode ser expressa em um número que traduz o quanto um processo é capaz de atender a uma determinada especificação:

$$Cp = \frac{\text{tolerância de especificação}}{6s}$$

Assim, um processo será considerado capaz quando o  $Cp$  for maior que 1, ou seja, quando a variabilidade natural do processo ( $6\sigma$ ) for menor que a tolerância admissível da especificação. Como é utilizado o  $\sigma_R$  (desvio padrão calculado a partir das amplitudes), alguns autores consideram a necessidade de que o  $Cp$  seja maior que 1,33.

O Quadro 3.2 mostra uma orientação para a interpretação da capacidade do processo.

**Quadro 3.2 - Interpretação do índice de capacidade do processo**

Cp ou Cpk	Nível	Conceito/Interpretação
maior que 1,33	A	CAPAZ - Confiável, os operadores do processo exercem completo controle sobre o mesmo, pode-se utilizar o pré-controle.
entre 1 e 1,33	B	RELATIVAMENTE CAPAZ - Relativamente confiável, os operadores do processo exercem controle sobre as operações mas o controle da qualidade deve monitorar e fornecer informações para evitar a deterioração do processo.
entre 0,75 e 0,99	C	INCAPAZ - Pouco confiável, requer controle contínuo das operações, pela fabricação e pelo controle da qualidade, visando evitar descontroles e perdas devido a refugos, retrabalhos, paralisações, etc.
menor que 0,75	D	TOTALMENTE INCAPAZ - O processo não tem condições de atender as especificações ou padrões, por isso, é requerido o controle, revisão e seleção de 100% das peças, produtos ou resultados.

Para análise da capacidade do processo é importante verificar a centralização do resultado do processo em relação aos limites de especificação. Assim, uma pequena descentralização pode levar a uma interpretação incorreta da capacidade. Por isso, deve-se utilizar o índice de capacidade  $C_{pk}$ . Este índice considera a diferença que possa existir entre a média do processo e o valor nominal(ou valor central da especificação), ou seja a descentralização do processo. Na realidade, é um cálculo simples que é feito a partir da comparação da tolerância de especificação com a variação natural do processo, em duas partes. Assim:

$$C_{pk} = \text{Min} [C_{pk \text{ inf}}, C_{pk \text{ sup}}]$$

$$C_{pk \text{ sup}} = (\text{limite sup. de especific.} - \text{média do processo}) \div 3 \cdot \text{desvio padrão do processo}$$

$$C_{pk \text{ inf}} = (\text{média do processo} - \text{limite inf. de especific.}) \div 3 \cdot \text{desvio padrão do processo}$$

A interpretação do resultado também segue o Quadro 3.2.

### 3.2.5 Relação entre capacidade e controle do processo

Na análise do processo pode-se constatar 4 situações possíveis, conforme mostrado na tabela a seguir. Cada situação exigirá ou possibilitará um controle da qualidade específico. Por ex. se o processo é capaz e estável, então tudo indica que há um bom grau de controle do processo por parte dos envolvidos, sendo suficiente controlar o processo por meio de autocontrole, pelos operadores, utilizando-se gráficos de pré-controle, etc. O Quadro 3.3 mostra as relações entre capacidade e controle do processo.

**Quadro 3.3 - Relação entre capacidade e controle do processo**

		<b>Controle</b>	
<b>Capacidade</b>	SOB CONTROLE/ESTÁVEL (CAUSAS COMUNS)	FORA DE CONTROLE/INSTÁVEL (CAUSAS COMUNS E ESPECIAIS)	
<b>Capaz</b>	<b>Caso A</b> - situação desejável. Autocontrole. Pré-Controle.	<b>Caso C</b> - o processo parece <i>OK</i> quanto a atender as especificações, mas é preciso melhorar seu controle. A qualquer momento pode sair de controle. O estudo de capacidade exigiu que o processo estivesse estável!	
<b>Incapaz</b>	<b>Caso B</b> - Processo estável, mas não tem capacidade de produzir no padrão de qualidade requerido.	<b>Caso D</b> - pior situação possível, causadora de problemas e perdas. É necessário eliminar causas especiais, preparar melhor o processo e refazer a análise. Exige inspeção completa.	

## **4 INSPEÇÃO DA QUALIDADE**

### **4.1 Objetivos da Inspeção da Qualidade**

- Determinar se há ou não conformidade de um produto, ou lote, já produzido, em relação às especificações de projeto
- Gerar informações que permitam tomar ações corretivas sobre o lote ou processo

### **4.2 Pontos de Inspeção**

A inspeção pode ocorrer nas seguintes fases da Produção:

#### **4.2.1 Inspeção de recebimento**

A extensão da inspeção em produtos (matéria-prima ou produto acabado) recebidos de terceiros depende da capacidade do fornecedor, devidamente avaliada previamente e continuamente acompanhada.

Em um extremo, temos a inspeção utilizando-se o conceito de "auditoria da decisão", onde o comprador compara os dados obtidos por sua inspeção com os dados recebidos do fornecedor. Quando os dados recebidos do fornecedor forem e continuarem a ser confiáveis, a inspeção se transforma em apenas uma identificação do produto recebido.

No outro extremo, a inspeção de recebimento torna-se um controle da qualidade do fornecedor.

#### **4.2.2 Inspeção durante a fabricação**

A inspeção durante a fabricação tem o objetivo de fornecer informações para a tomada de decisão sobre o produto, isto é, se o produto está ou não conforme a especificação e para a tomada de decisão sobre o processo, isto é, se o processo deve prosseguir ou não. A frequência de inspeção pode ser mais facilmente estabelecida se o processo é estável.

#### 4.2.3 Inspeção de produto acabado

A inspeção de produtos acabados (também conhecida como inspeção final), pode ser executada tanto na linha de produção (nos pontos de inspeção), como em áreas de inspeção separadas.

Muitas vezes a inspeção é feita em 100% dos produtos acabados, simulando as condições de uso ou realizando uma checagem completa no produto (check list) por meio de inspeção sensorial.

### 4.3 Tipos de Inspeção

#### 4.3.1 Inspeção 100%

A inspeção 100% é conveniente quando a característica é crítica ou a capacidade do processo é inerentemente insuficiente (incapaz) para alcançar os requisitos das especificações. É bom lembrar que o excesso de inspeção pode ser tão custoso quanto a falta de inspeção. A experiência mostra que a inspeção 100% não garante produtos perfeitos, isto é, não há garantias de segregação de todos os defeituosos. Vários estudos demonstram que o inspetor encontra aproximadamente 80% dos defeitos presentes.

#### 4.3.2 Inspeção por amostragem

Os objetivos principais dessa inspeção são de aceitação de um lote por meio de uma amostra representativa e de auxílio no controle do processo.

A inspeção por amostragem é conveniente para reduzir os custos da inspeção, manter a área de produção informada a respeito da qualidade dos produtos ao longo do processo e em situações onde o julgamento da conformidade se dá através de um ensaio destrutivo.

Para que a inspeção por amostragem tenha eficácia, alguns cuidados devem ser observados:

- Procedimentos adequados para seleção da amostra
- Representatividade da amostra (aleatoriedade)

### 4.3.3 Inspeção Sensorial

A qualidade sensorial é aquela para a qual há dificuldade de se ter instrumentos tecnológicos de medição, sendo utilizada a sensibilidade humana como instrumento de medição. As características normalmente avaliadas por inspeção sensorial são:

- sabor
- odor
- ruído
- aparência

As formas de padrões para a inspeção sensorial são:

- amostras para comparação
- fotografias
- sons gravados
- amostras com cheiro ou sabor

A característica visual é uma categoria especial de qualidade sensorial.

O resultado de uma inspeção visual é bastante influenciado pela iluminação (tipo, cor e intensidade), pelo ângulo de visão, pela distância da observação, etc. Deve-se padronizar essas condições, para assegurar uma maior uniformidade nos resultados.

### 4.3.4 Outros tipos de inspeção de conformidade

- Inspeção automatizada (inspeção utilizando robôs, *software*, leitor óptico, etc.)
- Inspeção auxiliada por computador (isto se aplica especialmente à inspeção de peças de máquinas de precisão)
- Inspeção de preparação antes da produção (em processos estáveis: se a preparação estiver correta o lote também deverá estar)
- Inspeção volante (para processos que não permanecem estáveis durante a produção de um lote)

#### 4.4 Considerações gerais sobre a inspeção da qualidade

Atividades da Inspeção:

- Interpretação da especificação
- Medição da característica de qualidade
- Julgamento da conformidade
- Tratamento dos casos conformes
- Tratamento dos casos não-conformes
- Registros dos dados obtidos

Conhecimentos necessários para atividade de inspeção:

- Que características da qualidade verificar
- Como determinar se um produto está ou não conforme aos padrões requeridos
- Qual o critério de aceitação de lotes de produtos
- O que fazer com os produtos conformes e não-conformes
- O que deve ser registrado

O Perfil desejado de um inspetor deve considerar:

*Conhecimentos imprescindíveis*

- Regulamentos e procedimentos da empresa
- Produtos e processos aplicados
- Elementos de medição de precisão
- Matemática aplicada à fabricação
- Segurança
- Sistemas de unidades de medida
- Teoria dos erros de medição

*Conhecimentos desejáveis:*

- Organização do controle da qualidade e suas funções
- Conhecimento de física básica

- Elaboração de relatórios técnicos
- Controle estatístico da qualidade básico

*Habilidades Técnicas:*

- Encontrar defeitos
- Interpretar especificações
- Relatar com exatidão

*Habilidades Pessoais:*

- Controle emocional
- Temperamento
- Aptidão
- Atenção/ Concentração

## 5 PLANOS DE AMOSTRAGEM

### 5.1 Introdução

A inspeção da qualidade faz-se em produto já existente (já produzido), que pode ser uma matéria prima, um produto em processo ou um produto acabado, com a finalidade de verificar se a qualidade do lote atende os padrões ou especificações de aceitação.

Os Planos de Amostragem são aplicados na Inspeção de Recebimento, na Inspeção Final (de Produto Acabado) ou na passagem de uma etapa para outra de um processo de produção (por ex. na passagem de um produto da seção A para a seção B; da produção para a linha de montagem; da produção para uma câmara de resfriamento; da produção para o almoxarifado; etc).

A inspeção não impede a produção de defeituosos, mas permite separar os lotes bons dos defeituosos (lotes com problemas, que não cumprem os requisitos mínimos de qualidade definidos entre o cliente e o fornecedor), ou seja, os lotes conformes dos não-conformes.

A inspeção pode ser:

- (1) **inspeção para aceitação** – neste caso os lotes aprovados serão aceitos, contendo, eventualmente, itens defeituosos.
- (2) **inspeção retificadora** – neste caso, além da situação descrita em 1, os lotes rejeitados passam por uma inspeção completa, todos os itens defeituosos são substituídos por bons, e aí o lote é aceito.

### 5.2 Níveis de Qualidade, Risco do Produtor e Risco do Consumidor

Define-se P1 como sendo o Nível de Qualidade Aceitável (NQA) e P2 como o Nível de Qualidade Inaceitável (NQI). P1 e P2 se referem a porcentagens de defeituosos do lote.

Um plano de amostragem consiste na definição de um tamanho de amostra e de um critério de decisão para aceitar (ou não) um lote: **n** é o tamanho da amostra, **d** é a quantidade de defeituosos na amostra e **a** é a quantidade máxima de defeituosos aceitável na amostra para se poder aprovar o lote.

Como se trabalha com amostras, existe o risco de se tirar conclusões erradas sobre o lote. O Quadro 5.1 apresenta um exemplo disso.

**Quadro 5.1- Exemplo: níveis de qualidade, risco do produtor e risco do consumidor**

Imagine um lote N=100, o qual contem (sem se saber) 5 itens defeituosos e 95 bons. Suponha que o Plano de Amostragem seja: n = 5 e a = 1, para P1 (NQA) = 6%. Ou seja, o lote pode ser considerado bom, atendendo o que foi especificado.

Entretanto, neste caso existe o risco da amostra conter, por exemplo, exatamente os 5 itens defeituosos e portanto de se rejeitar o lote sendo que ele é bom, pois tem 5% de defeituosos e o NQA é de 6%.

Imagine agora um lote N=100, o qual contem: 95 itens defeituosos e 5 bons. Suponha o mesmo plano de amostragem anterior.

Neste caso existe o risco da amostra conter exatamente os 5 itens bons e portanto de se aceitar um lote ruim.

O produtor deseja uma proteção contra a rejeição de lotes bons e o consumidor (cliente) deseja proteção contra a aceitação de lotes de má qualidade.

Para tanto distingue-se 2 tipos de riscos:

Risco do produtor (α): é a probabilidade de que um lote de boa qualidade (P < P1) seja rejeitado.

Risco do consumidor (β): é a probabilidade de que um lote de má qualidade (P > P2) seja aceito.

OBS. P = porcentagem de defeituosos na amostra.

**5.3 CCO – Curva Característica de Operação**

A probabilidade de aceitação do lote para um dado plano de amostragem (n e a) é:

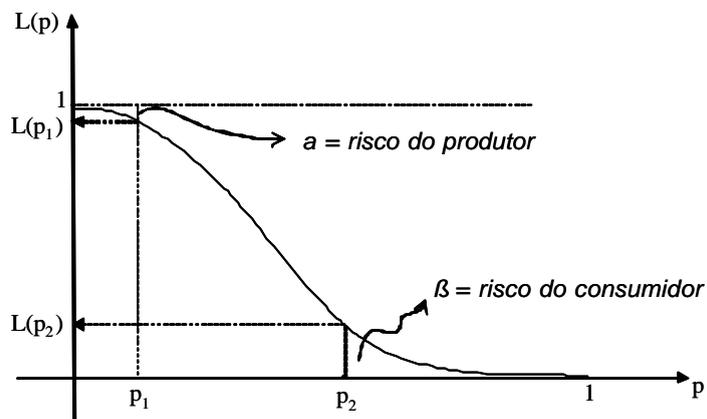
$$F(a) = \text{Prob}(0 \leq d \leq a) = \sum_{d=0}^a \binom{n}{d} p^d \cdot (1-p)^{n-d}$$

A probabilidade de rejeição é = 1 – F(a) = Prob (d > a)

Define-se Função Característica de Operação como sendo: L(p) = F(a), onde L(p) é a probabilidade de aceitação de um lote em função de p, ou seja, em função da fração defeituosa do lote.

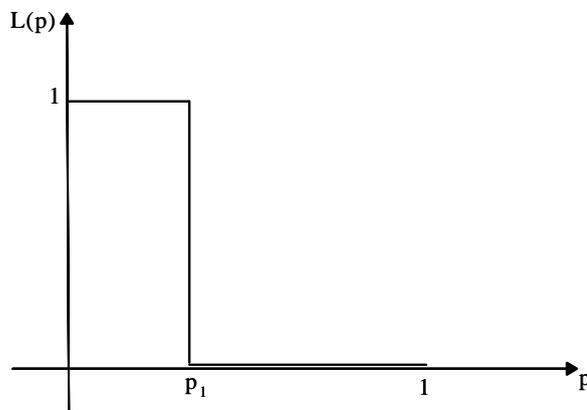
A CCO é o gráfico da função L(p), representado pela Figura 5.1, para um dado plano: **n e a**.

$$L(p) = \text{Prob} (0 \leq d \leq a / p \text{ e } n)$$



**Figura 5.1 - Gráfico da função L(p)**

Um bom plano é aquele que tem um bom poder de discriminação (ou seja, uma boa capacidade de discriminar/separar os lotes bons dos defeituosos), o que é dado pela inclinação da curva CCO. A Figura 5.2. **mostra como é a CCO ideal.**



**Figura 5.2 - Gráfico de CCO ideal**

A CCO deverá passar por dois pontos:

$(P_1, L(P_1))$  e  $(P_2, L(P_2))$ , sendo  $L(P_1) = 1 - a$  e  $L(P_2) = \beta$

Tendo-se fixado previamente esses 4 valores  $(P_1, P_2, L(P_1), L(P_2))$ , determina-se o Plano de Amostragem (**n e a**), por meio das equações:

$$L(P_1) = 1 - \mathbf{a} = \sum_{d=0}^{\mathbf{a}} \binom{n}{d} p_1^d \cdot (1 - p_1)^{n-d}$$
$$L(P_2) = \mathbf{b} = \sum_{d=0}^{\mathbf{a}} \binom{n}{d} p_2^d \cdot (1 - p_2)^{n-d}$$

Entretanto, procedendo-se assim, não se tem controle sobre o tamanho da amostra e pode-se chegar a um tamanho que não seja conveniente ou aceito pela empresa.

Para tanto já existem planos de amostragem tabelados que fixam previamente o  $\mathbf{n}$  e o  $\mathbf{a}$ , considerados convenientes, e fixa-se apenas um ponto da CCO, perdendo-se o controle do outro ponto. Assim, neste caso, se fixa-se ( $P_1, 1-\mathbf{a}$ ), perde-se o controle sobre o ponto ( $P_2, \mathbf{b}$ ).

#### 5.4 Tipos de Planos de Amostragem

Existem 3 tipos de planos de amostragem, conforme a quantidade de amostras que se toma:

Simple, Duplo e Múltiplo.

##### 5.4.1 Planos de amostragem simples

A quantidade de unidades de produto inspecionada deve ser igual ao tamanho da amostra dada pelo plano.

Se o número de unidades defeituosas encontradas na amostra for igual ou menor do que o número de Aceitação ( $Ac$ ), o lote deverá ser considerado aceito.

Se o número de unidades defeituosas for igual ou maior do que o número de Rejeição ( $Re$ ) o lote deve ser rejeitado.

##### 5.4.2 Plano de amostragem dupla

A quantidade de unidades de produto inspecionada deve ser igual ao primeiro tamanho de amostra dado pelo plano.

Se o número de unidades defeituosas na primeira amostra for igual ou menor do que o primeiro número de aceitação ( $Ac$ ), o lote deve ser considerado aceito.

Sendo o número de unidades defeituosas na primeira amostra igual ou maior do que o primeiro número de rejeição ( $Re$ ), o lote será rejeitado.

Se o número de unidades defeituosas encontrado na primeira amostra for maior do que o primeiro número de aceitação, porém menor do que o primeiro número de rejeição, uma segunda amostra de tamanho dado pelo plano será retirada.

As quantidades de unidades defeituosas encontradas nas primeira e segunda amostras devem ser acumuladas (somadas).

Se esta quantidade acumulada for igual ou menor do que o segundo número de aceitação, o lote será aceito.

Sendo a quantidade acumulada igual ou maior do que o segundo número de rejeição o lote deve ser rejeitado.

#### 5.4.3 Plano de amostragem múltipla

Proceder conforme o plano de amostragem dupla, observando-se porém, que o número de amostras sucessivas para decisão, deve ser maior do que dois.

À medida que se passa do plano simples em direção ao múltiplo, diminui-se, ao longo do tempo, a quantidade média de itens amostrados (e portanto o custo de inspeção), entretanto, aumenta-se a complexidade no uso do respectivo plano.

### 5.5 Classificação dos Planos de Amostragem

Os planos de amostragem podem ser agrupados em duas categorias, segundo o tipo de proteção que oferecem:

1. Planos que especificam os riscos do produtor e do consumidor (2 pontos da CCO). Estes planos podem ser obtidos por meio do conjunto de equações mencionado anteriormente.
2. Planos que especificam um ponto da CCO e impõem uma ou mais condições independentes.

O ponto da CCO poderá ser:

- NQA (ou: P1, L(P1))
- NQI ou FDT-Fração Defeituosa Tolerável (ou: P2, L(P2))
- Ponto de Controle (P 0,50), ou ponto de qualidade indiferente
- QMRL (Qualidade Média Resultante Limite)

As condições independentes da CCO impostas ao plano de amostragem, referem-se em geral à quantidade mínima de inspeção ( $n$  mínimo) ou à substituição dos defeituosos encontrados. Em ambos os casos são motivos de ordem econômica que impõem a adoção de planos com quantidade mínima de inspeção ou com inspeção retificadora.

Nesta segunda categoria os planos têm sido classificados em 4 tipos:

#### **Planos classificados pelo NQA**

O NQA deve ser entendido como a máxima porcentagem de defeituosos que para fins de inspeção por amostragem, possa ser considerada satisfatória como média de um processo fornecendo diversos lotes ao longo do tempo. Supõe-se que as unidades do produto são produzidas em lotes que se repetem no tempo e a proteção oferecida pelo NQA se refere à qualidade média dos lotes inspecionados.

#### **Planos classificados pelo NQI ou FDT**

A FDT deve ser entendida como a pior qualidade que pode ser tolerada em um único lote (ou lote isolado). Assim, o plano oferece proteção para lotes isolados, de qualidade não inferior ao FDT.

#### **Planos classificados pelo Ponto de Controle (P 0,50)**

O  $P=0,50$  deve ser entendido como a fração de defeituosos para a qual os riscos do produtor e do consumidor são iguais, portanto é a fração defeituosa para a qual a probabilidade de aceitação do lote é 50%.

#### **Planos classificados pela QMRL**

Esses planos supõem inspeção retificadora para os lotes rejeitados. A QMRL não é um ponto da CCO, mas sim a qualidade média resultante (porcentagem média de defeituosos), a longo prazo, de uma inspeção por amostragem, considerando-se todos os lotes aceitos e todos os lotes rejeitados após terem sido inspecionados em 100% e todas as unidades defeituosas terem sido substituídas.

Ou seja, esse plano assegura que ao longo da inspeção de diversos lotes:

$$\frac{\sum d}{\sum \text{inspecionado}} \leq QMRL$$

$\sum d$  = soma de todos os defeituosos dos lotes aceitos

$\sum$  *inspecionado* = soma de todos os itens dos lotes inspecionados

Os planos apresentados prevêm 3 categorias de inspeção:

- *Inspeção comum*: para o caso dos diferentes lotes manterem sua qualidade média ao longo do tempo.
- *Inspeção severa*: quando a qualidade dos lotes piorar ao longo do tempo
- *Inspeção atenuada*: para o caso em que a qualidade dos lotes melhorar.

O que diferencia esses tipos de inspeção é o tamanho da amostra e a rigidez do plano. Existem condições pré-estabelecidas para se mudar de um tipo de inspeção para outro, sendo que a inspeção comum geralmente é empregada no início do fornecimento.

Uma regra para uso é a sistemática de comutação entre as categorias, descrita a seguir.

#### *Comum para severa*

Quando a inspeção comum estiver sendo aplicada, será necessário passar para inspeção severa, se, dentre 5 (cinco) lotes consecutivos, 2 (dois) tiverem sido rejeitados na inspeção original.

#### *Severa para comum*

Quando estiver sendo aplicada a inspeção severa, a normal deve substituí-la, se 5 (cinco) lotes consecutivos tiverem sido aprovados na inspeção original.

#### *Comum para atenuada*

Estando em aplicação a inspeção comum, a inspeção atenuada deve ser usada desde que sejam satisfeitas as seguintes condições:

- que os dez lotes precedentes (ou mais), tenham sido submetidos à inspeção comum e nenhuma sido rejeitado.
- quando o número total de unidades defeituosas encontrado nas amostras dos dez ou mais lotes precedentes, submetidos a inspeção comum e não rejeitados for igual ou menor do que o número limite dado na tabela de valores limites para introdução de inspeção atenuada.
- quando a produção se desenvolve com regularidade.
- se a inspeção atenuada for considerada apropriada pelo responsável.

Se amostragens duplas ou múltiplas estão sendo aplicadas, deve ser computado o número total de unidades defeituosas encontrado em todas as amostras, para efeito de comparação com os números previstos na tabela acima mencionada.

#### *Atenuada para comum*

Estando em aplicação a inspeção atenuada, deve-se passar para a normal se qualquer uma das condições abaixo descritas ocorrer:

- um lote rejeitado
- um lote for aprovado, segundo critério estabelecido na nota mencionada a seguir.
- a produção torna-se irregular.
- a ocorrência de condições adversas que justifiquem a mudança para a inspeção normal.

*Nota: pode ocorrer na inspeção em regime atenuado que a seqüência de amostragem termine sem que tenha sido definido o critério de aceitação ou rejeição do lote. Considera-se, nestes casos, o lote “aceito” implantando-se, porém, Regime de Inspeção Normal no lote subsequente.*

Também são previstos 3 níveis de inspeção para uso geral:

Nível I: usado quando Planos de Amostragem com menor discriminação podem ser utilizados (“planos com menor poder de discriminar um lote bom de um ruim”)

Nível II: usado no início de um fornecimento de lotes.

Nível III: usado quando for necessário planos com maior poder de discriminação.

São previstos 4 outros níveis especiais para os casos em que amostras relativamente pequenas forem necessárias (ensaios destrutivos, caros, etc) e ou riscos grandes podem ser tolerados. Esses níveis são: S1, S2, S3, S4.

## **5.6 Observações Gerais**

Na prática, nas empresas, utiliza-se principalmente planos de amostragem simples classificados pelo NQA.

É comum o uso de programas chamados *skeep lot*, por meio dos quais as empresas acompanham o desempenho, lote a lote, dos fornecedores e vão, de forma dinâmica, ajustando o plano conforme muda o desempenho. Nesse programa é previsto, por exemplo, que em função de um bom desempenho, e consistente, o fornecedor seja

considerado como de **qualidade assegurada**. Isso traz ao fornecedor uma série de vantagens, como por exemplo ser fornecedor preferencial de clientes. As tabelas para planos de amostragem estão em Anexo.