



**Universidade Federal do Ceará
Pró-Reitoria de Graduação
Centro de Ciências
Departamento de Estatística e Matemática Aplicada**

DISCIPLINA

**CONTROLE ESTATÍSTICO DA
QUALIDADE**

**PROF. DR. JOÃO WELLIANDRE CARNEIRO
ALEXANDRE**

ÍNDICE

1. Introdução	
1.1 Evolução da qualidade.....	
1.2 Algumas definições da qualidade	
2. Medidas estatísticas	
2.1 Coleta de dados (Por quê???)	
2.2 Medidas de posição	
2.2.1 Média aritmética e propriedades	
2.3 Medidas de dispersão	
2.3.1 Amplitude total (AT).....	
2.3.2 Variância, desvio padrão e propriedades	
2.3.3 Coeficiente de variação (CV)	
3. Diagrama de dispersão.....	
3.1 Coeficiente de correlação linear de Pearson	
4. Histograma	
5. Avaliação da qualidade das medidas.....	
5.1 Repetitividade.....	
5.2 Reprodutibilidade.....	
5.3 Vício de sistemas de medição.....	
5.4 Adequação da unidade de medida.....	
6. Gráficos (cartas) de controle	
6.1 Conceitos importantes	
6.2 A distribuição normal	
6.3 Subgrupos racionais	
6.4 Gráficos de controle por variáveis.....	
6.4.1 Gráficos de controle para a média e amplitude	
6.4.2 Gráficos de controle para média e desvio-padrão	
6.4.3 Gráficos de controle para medidas individuais-Gráficos X e AM	
7. Processos autocorrelacionados.....	
7.1 Conceito.....	
7.2 Identificação de processos autocorrelacionados.....	
8. Gráficos de controle por atributos.....	
8.1 Gráfico de controle para a proporção (p)	
8.2 Gráfico de controle para o número de itens defeituosos (np)	
8.3 Gráfico de controle para o número de defeitos na amostra (c).....	
8.4 Gráfico de controle para o número de defeitos por unidade (u).....	
9. Análise os gráficos de controle	
9.1 Análise da capacidade do processo (índice C_p e C_{pk})	
10. Planos de inspeção por amostragem por atributos.....	
10.1 Conceitos importantes.....	
10.2 Vantagens e desvantagens da amostragem.....	
10.3 Planos de inspeção por amostragem simples	
10.4 Planos de inspeção por amostragem dupla	
11. Bibliografia recomendada	

1. Introdução

1.1 Evolução da qualidade

Segundo GARVIN (1992) todo o processo de evolução da qualidade até chegar ao grau de maturidade e conscientização em que hoje se encontra foi gradativo e evoluiu de forma lenta, regular e não através de marcantes inovações. Baseado nesse autor, a evolução da qualidade, dentro do ambiente norte-americano, pode ser organizado em 4 (quatro) “Eras da Qualidade”:

INSPEÇÃO MASSIVA

- ✓ A qualidade era assegurada através de uma inspeção massiva após o produto acabado.
- ✓ No começo, a qualidade era responsabilidade de “artesões”, os quais fabricavam os produtos desde o início até a fase final.
- ✓ Com o surgimento da produção em larga escala, como decorrência da Revolução Industrial - Séculos XVIII e XIX - surgiu a necessidade de peças intercambiáveis sendo utilizado, então, um modelo padrão do produto a ser fabricado e, em cada estágio da produção, executava-se uma inspeção total dos itens produzidos. A responsabilidade pela qualidade era atribuída aos inspetores das fábricas.

CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE

Pode ser caracterizado por 2 elementos:

- ✓ *O Controle Estatístico do Processo.* Sua origem deve-se a Shewhart (1931), que reconheceu que no processo de fabricação industrial podem existir duas fontes de variações: a *variação casual ou aleatória* - inerente ao próprio processo - e a *variação especial ou assinalável* - que não faz parte do processo. Mostrou que tais variações podem ser estudadas sob o ponto de vista probabilístico levando, assim, ao surgimento da previsibilidade do processo. Shewhart propõe, então, os *Gráficos de Controle Estatístico do Processo*.

A qualidade do produto passou assim a ser assegurada durante o processo de fabricação e não mais somente na inspeção final. Contudo a qualidade ainda era vista essencialmente como responsabilidade do “chão de fábrica” - do departamento de produção - sem conotação para aspectos gerenciais.

- ✓ *Inspeção por Amostragem.* Paralelamente ao trabalho de Shewhart foram desenvolvidos planos de amostragem que buscavam assegurar que, para um determinado nível de defeitos, a probabilidade de se aceitar, sem saber, um lote insatisfatório ficaria limitada a certo percentual. Harold Dodge e Harry Roming foram os pioneiros nesta área. Foi criado, a partir de então, tabelas de amostragem baseado no conceito de Níveis Aceitáveis de Qualidade (NAQ).

GARANTIA DA QUALIDADE

Os instrumentos da qualidade ultrapassam a visão estreita do chão de fábrica para uma visão mais ampla, ao nível de gerenciamento da empresa. É caracterizado pelos seguintes elementos:

- ✓ *Custos da Qualidade.* Baseado na premissa de que ao produto defeituoso está associado um custo. Os custos podem ser divididos em: *custos inevitáveis*, associados à prevenção - inspeção, amostragem, etc.; *custos evitáveis*, associados aos defeitos e falhas dos produtos - material retrabalhado ou sucateado, prejuízos financeiros resultantes de clientes insatisfeitos, tempo necessário para o retrabalho, etc. Aos custos evitáveis Juran denominou “ouro de mina”, pelo fato de ser possível reduzi-los investindo na qualidade.
- ✓ *Controle Total da Qualidade (CTQ)*
“Controle Total da Qualidade é um efetivo sistema integrando vários grupos dentro da organização - *marketing*, engenharia, produção e serviços, nos esforços para o desenvolvimento, manutenção e melhoria da qualidade, a níveis mais econômicos, conduzindo à plena satisfação do consumidor.”

As bases do CTQ repousam no princípio básico de que o controle efetivo da qualidade começa com a identificação dos requisitos do consumidor e termina quando os produtos ou serviços estão nas mãos deste consumidor, plenamente satisfeito.

A qualidade é assumida, agora, como uma estratégia competitiva de negócios e sua essência é definida como uma forma de gerenciar uma organização. A responsabilidade pela qualidade não é específica de um departamento, e sim, de todos da organização. Portanto, equipes interfuncionais se tornam essenciais, a fim de que haja uma sincronização das atividades, fato que não ocorre se cada departamento trabalha isoladamente.

- ✓ Engenharia da Confiabilidade. Fundamentada na garantia do desempenho satisfatório dos produtos adquiridos pelo consumidor ao longo do tempo. Existe, aqui, uma forte utilização da Teoria das Probabilidades e da Estatística. A confiabilidade é definida como a probabilidade de um produto desempenhar suas funções especificadas, ao longo do tempo, sob certas condições predeterminadas em projeto.
- ✓ *O Padrão de Desempenho Zero Defeito*. Sua ideia começou a ser difundida no início dos anos sessenta. O grande fundamento da filosofia do Zero Defeito consiste em eliminar o paradigma universal de que o erro é inevitável e que se deve aceitá-lo como uma prerrogativa da natureza humana. Em oposição a esse paradigma deve-se adotar a atitude de prevenção de defeitos, atitude de se decidir “acertar desde a primeira vez”, ou seja, fornecer produtos e serviços corretos desde a primeira vez.

CROSBY (1992) afirma que a maioria dos erros humanos é causada mais por falta de atenção do que por falta de conhecimento e, por sua vez, a falta de atenção ocorre quando se supõe que o erro seja inevitável. A falta de conhecimento pode ser mensurável, por exemplo,

por avaliações. A falta de atenção, todavia, é um estado de espírito, é um problema de atitude que deve ser atacado e modificado pelo indivíduo. Diferente da Engenharia da Confiabilidade, o modelo de desempenho Zero Defeito tem sua maior ênfase em questões filosóficas, de conscientização, no lugar de técnicas específicas - estatísticas, na solução de problemas.

GESTÃO ESTRATÉGICA DA QUALIDADE

A qualidade assume importância relevante junto à alta direção, fazendo parte das estratégias de negócios da empresa, sendo vista como uma arma agressiva de concorrência, associada ao lucro e a produtividade.

Para se obter uma vantagem competitiva, torna-se necessário:

- ✓ Identificar as expectativas e exigências do consumidor, que tem a palavra final sobre a qualidade e incorporá-la às especificações dos produtos ou serviços. Ferramentas tais como QFD - *Quality Function Deployment* (Desdobramento da Função Qualidade) e pesquisas de mercado têm efetivas aplicações.
- ✓ Antecipar frente ao concorrente no desenvolvimento e lançamento de novos produtos no mercado - atuar proativamente.
- ✓ Melhoria contínua de processos, produtos e serviços motivada tanto pela necessidade de superar as pressões da concorrência, como pela necessidade de satisfazer as exigências dos consumidores. As metas da qualidade devem, portanto, ser continuamente reformuladas em níveis sempre mais elevados (o conceito de meta da qualidade como um alvo móvel).
- ✓ Conscientização da alta administração de que a qualidade e produtividade não são conceitos conflitantes e que o investimento na qualidade é uma arma poderosa para a sobrevivência da organização.

1.2 Algumas definições da qualidade

Um produto ou serviço é fornecido com qualidade quando atende satisfatoriamente, a um preço acessível e no tempo certo, as necessidades do cliente.

- Grau no qual um conjunto de características inerentes satisfaz a requisitos. (ISO 9000).
- Conformidade com os requisitos (Philip B. Crosby).
- Diferenças de qualidade correspondem a diferenças de quantidades de algum ingrediente ou atributo desejado. (Lawrence Abbott).
- Adequação ao uso. (J. M. Juran).
- É o grau de excelência a um preço aceitável e o controle de variabilidade a um custo aceitável. (Robert A. Broh).

Qualidade em serviço (Q.S.) definida sob um ponto de vista matemático pode ser dada por:

$$Q.S. = \frac{\textit{Serviço Prestado}}{\textit{Expectativa}}$$

Como o denominador aumenta em relação ao tempo, é necessário o melhoramento contínuo no serviço prestado.

Os serviços têm algumas características que diferem dos produtos (físicos):

- a) Presença e participação do cliente durante o fornecimento do serviço.
- b) Produção e consumo simultâneos do serviço, com a conseqüente impossibilidade de estocagem.
- c) Intangibilidade. Os serviços são experiências que o cliente vivencia, enquanto os produtos são objetos que podem ser possuídos. É impossível de avaliá-lo antes do fornecimento.

*** * SERVIÇOS NÃO SÃO PATENTIÁVEIS * ***

Serviço é, portanto, o resultado gerado pelas “atividades na relação entre o fornecedor e o cliente”. Isto quer dizer que o fornecimento do serviço ocorre com a presença do cliente, com um maior ou menor grau de contato.

Afinal, quem é o **CLIENTE**:

Duas abordagens:

1. O cliente está no próximo processo.

Abordagem do cliente dentro de toda a cadeia produtiva (processos internos e externos da empresa).

2. O cliente é aquele que paga toda a cadeia produtiva.

Abordagem do cliente que adquire o serviço ou produto (o cliente final).

O que é **PROCESSO**:

1. Conjunto de ações que agregam valor.
2. Conjunto de ações executadas para gerar produtos ou serviços que atendam as necessidades do cliente.



IMPORTANTE

1. A palavra final sobre a qualidade é definida pelo cliente.
2. Cliente é quem define qual indicador da qualidade é mais importante.

2. Medidas estatísticas

Dentro do processo de fornecimento de produtos e serviços existem fatores que podem influenciar diretamente na qualidade deles. Fatores que levam à **variabilidade** no nível da qualidade dos processos, causando a ocorrência de defeitos.

Fatores tais como: nível de treinamento dos funcionários, calibração de equipamentos, matéria-prima do fornecedor, método de trabalho, nível de limpeza do ambiente de trabalho, etc., etc..

Seria ideal se, uma vez definido um nível “ótimo” de qualidade, este se mantivesse sempre constante durante todas as atividades do processo.

As principais atividades gerenciais para a obtenção de produtos e serviços com qualidade são:

- a) Desenvolvimento de um nível de qualidade
- b) Manutenção do nível de qualidade
- c) Melhoria contínua do nível da qualidade

As ferramentas estatísticas atuam, portanto, na redução da variabilidade dos processos. São formas eficientes no controle e identificação de causas que levam ao fornecimento de produtos e serviços com qualidade inferior.

2.1 Coleta de dados. Por quê???

A primeira etapa para se estudar o comportamento de um processo é a coleta de informações (coleta de dados). Esta etapa é tão fundamental dentro do processo de avaliação que, caso seja feita de forma errada, certamente levará a conclusões equivocadas.

Temos que obter, portanto, Dados Confiáveis.

Pontos que devem ser questionados dentro do processo de coleta de dados:

a) Qual o objetivo da coleta?

- ◆ A coleta de dados sem objetivos definidos é inútil, onerosa e não gera motivação.

b) Quais dados devem ser coletados?

- ◆ Concentrar apenas os dados relevantes, pois a confiabilidade tende a diminuir com o seu volume.
- ◆ O tamanho da amostra depende do objetivo da coleta, características do processo (variabilidade, variáveis a serem estudadas,...) e da precisão desejada.

c) Métodos de medição

- ◆ Os instrumentos (equipamentos) estão calibrados e aferidos?
- ◆ A infra-estrutura para a coleta de dados é adequada?
 - Foi elaborada uma **folha verificação simples** (para anotação dos dados), com espaço para registros de anomalias no processo, identificação de quem coletou os dados, quando, como, onde, etc.
- ◆ O pessoal responsável pela coleta está treinado?
 - Sabem o porquê da coleta e como ela deve ser feita?
 - Sabem preencher a folha de verificação
 - Os dados foram coletados de forma aleatória?

Dois conceitos são importantes aqui:

1. População. Conjunto de todos os elementos do universo (processo) em estudo, sobre os quais desejamos obter conclusões.

2. Amostra. É um subconjunto da população.

☞ **Lembre-se:**

As decisões de sua empresa serão tomadas baseadas na coleta de dados. O que se pretende é modelar a realidade de um processo, com base numa amostra. É por isto que devemos selecioná-la de forma a torná-la representativa do processo.

2.2 Medida de posição

2.2.1 Média aritmética e propriedades

É uma medida de posição – de tendência central - que sintetiza as informações de um conjunto de dados em apenas um valor. Para se obtê-la dividi-se a soma de todos os valores de uma variável de interesse (**X**) pela quantidade de valores (**n**), isto é:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Lê-se: \bar{X} = x-barra (média amostral)

Caso estejamos trabalhando com uma população, dividimos por **N** (o tamanho da população), denominando então, de média populacional.



IMPORTANTE

- ☒ A média aritmética é menos representativa quando os valores do conjunto de dados são dispersos.
- ☒ A média aritmética é sensível a valores extremos

Devemos ter, portanto, cuidado em afirmarmos que, por exemplo, o tempo médio que um profissional executa sua atividade assume determinado valor. Se esta empresa tem várias linhas de produção com características diferentes, máquinas diferentes, atividades diferentes, estes fatores devem ser estratificados para se determinar uma média que seja mais representativa.

APLICAÇÃO 1:

Os dados abaixo se referem a 10 medições da camada de tinta nas laterais de fogões de duas linhas de produção: Linhas 1 e 2.

Linha 1	46	45	57	55	42	59	60	48	39	59
Linha 2	32	34	32	33	37	35	37	30	34	30

LINHA 1

a) Média Aritmética

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{10} X_i}{10} =$$

b) A Amplitude Total

$$AT = V_{\text{maior}} - V_{\text{menor}} =$$

c) A Variância

$$\text{Var}(X) = \frac{\sum_{i=1}^{10} X_i^2 - n * \bar{X}^2}{10 - 1} =$$

d) O Desvio Padrão

$$DP = \sqrt{\text{Var}(X)}$$

e) Coeficiente de Variação

$$CV = \frac{DP}{\bar{X}} * 100$$

LINHA 2

a) Média Aritmética

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{10} X_i}{10} =$$

b) A Amplitude Total

$$AT = V_{\text{maior}} - V_{\text{menor}} =$$

c) A Variância

$$\text{Var}(X) = \frac{\sum_{i=1}^{10} X_i^2 - n * \bar{X}^2}{10 - 1} =$$

d) O Desvio Padrão

$$DP = \sqrt{\text{Var}(X)}$$

e) Coeficiente de Variação

$$CV = \frac{DP}{\bar{X}} * 100$$

2.3**Medidas de dispersão****2.3.1 Amplitude total - (AT)**

É a diferença entre o maior e o menor valor de um conjunto de dados.

$$AT = V_{\text{maior}} - V_{\text{menor}}$$

Onde: V_{maior} = maior valor V_{menor} = menor valor

IMPORTANTE

A amplitude total apresenta a limitação de não revelar a distribuição interna dos dados

2.3.2 Variância, desvio-padrão e propriedades

A **Variância** mede o grau de variabilidade dos valores de um conjunto de dados em relação à média aritmética.

É definida como a soma dos quadrados dos desvios em relação à média aritmética, dividida pela quantidade de termos somados menos um - **(n-1)**.

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

O denominador **(n-1)** é utilizado quando estamos trabalhando com uma amostra da população (variância amostral). Caso os dados representem uma população devemos dividir por **N**, o tamanho da população (variância populacional).

A raiz quadrada da variância denomina-se **Desvio-Padrão**.

$$DP(X) = \sqrt{\text{Var}(X)}$$

Esta medida está na mesma dimensão dos dados e, por isso, oferece uma melhor visualização do nível de dispersão.



IMPORTANTE

- ☑ Um alto valor da variância significa que os dados estão dispersos em relação à média aritmética.
- ☑ Quando o valor da variância é pequeno significa que os dados estão mais concentrados em relação à média aritmética.

As observações acima são aplicadas também para o Desvio-Padrão.

Fórmulas alternativas para o cálculo da variância amostral:

1-

$$\text{Var}(X) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n * \bar{X}^2}{n - 1}$$

2-

$$\text{Var}(X) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2}{n}}{n - 1}$$

APLICAÇÃO 2:

Determinação da variância e desvio-padrão dos dados da Aplicação 1.

2.3.3 Coeficiente de variação - (CV)

- Mede o grau de dispersão relativa de um conjunto de dados.
- É adequado quando desejamos comparar a dispersão entre dois conjuntos diferentes de dados.

$$CV = \frac{DP(X)}{\bar{X}} * 100$$



IMPORTANTE

- ☒ Coeficiente de variação alto significa que os dados são heterogêneos.
- ☒ Coeficiente de variação próximo de zero, significa que os dados são homogêneos.

Portanto,

A média aritmética será mais representativa de um conjunto de dados, quanto menor for o coeficiente de variação.

APLICAÇÃO 3:

Determinação e discussão do coeficiente de variação dos dados da Aplicação 1.

3. Diagrama de dispersão

Em muitas situações existe o interesse de estudar o relacionamento entre duas variáveis. Por exemplo: há algum relacionamento entre experiência profissional

(tempo de serviço) e a quantidade de reclamações dos clientes?

Um instrumento adequado para este caso é o **Diagrama de Dispersão**. É construído em um eixo cartesiano. O procedimento de construção consiste em escolher de forma conveniente as variáveis que serão plotadas no eixo horizontal (**X**) e no eixo vertical (**Y**).

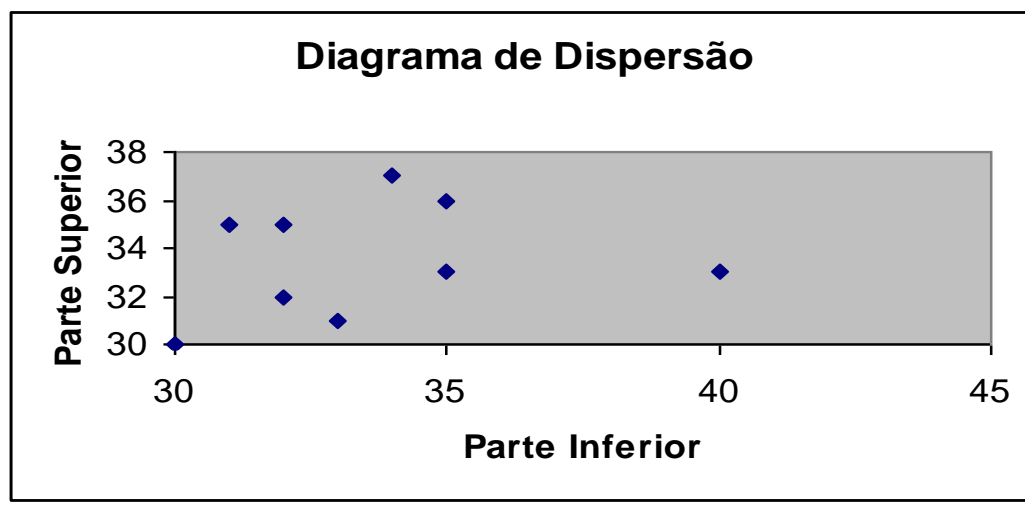
Um diagrama de dispersão apresenta **correlação positiva** entre as variáveis quando, à medida que **x** aumenta, **y** também aumenta; a **correlação negativa** ocorre quando, à medida que **x** aumenta **y** diminui e vice-versa.

Dependendo da dispersão dos pontos plotados esta correlação **pode não existir, ser fraca, forte ou moderada**.

Duas variáveis não apresentarão relacionamento quando a nuvem de pontos tem a forma de um círculo.

A Figura abaixo ilustra um Diagrama de Dispersão.

Os pontos correspondem a 9 medidas de camadas de tintas das laterais de fogões, em duas posições: superior e inferior.



PONTOS ATÍPICOS NO DIAGRAMA DE DISPERSÃO DEVEM SER INVESTIGADOS

3.1 Coeficiente de correlação linear de Pearson

Fornece a intensidade da relação linear entre duas variáveis em termos quantitativos. É definido por:

$$r(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \right)}}$$

Valores de r	Interpretação
- Próximo de 1 (um)	- Forte correlação linear positiva
- Próximo de -1 (menos um)	- Forte correlação linear negativa
- Próximo de 0 (zero)	- Não existe correlação linear

Fórmula alternativa:

$$r(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i * Y_i - n * \bar{X} * \bar{Y}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n X_i^2 - n * \bar{X}^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n Y_i^2 - n * \bar{Y}^2 \right)}}$$

APLICAÇÃO 4:**ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE AS POSIÇÕES (INFERIOR E SUPERIOR)
DA LATERAL DE FOGÕES**

ORD. LAT.	Inferior (X_i)	Superior (Y_i)	$X_i \cdot Y_i$	X_i^2	Y_i^2
1	32	32			
2	30	30			
3	30	30			
4	32	35			
5	35	33			
6	40	33			
7	35	36			
8	31	35			
9	34	37			
10	29	36			
TOTAL					

4. Histograma

É útil conhecer o padrão de variação das características de qualidade de um processo que está sob controle. Uma ferramenta adequada para este fim é o histograma.

O histograma é um gráfico de barras juntas que associa os valores de uma característica da qualidade, divididos em pequenos intervalos, com a frequência dos dados, para cada um destes intervalos.

O objetivo é resumir um grande conjunto de dados, ressaltando suas características globais tais como faixa de valores observados, dispersão e padrão (ou forma) de variação. Permite uma compreensão visual rápida do desempenho de uma característica de qualidade de um processo, porém, sem qualquer informação sobre o que ocorre ao longo do tempo.

O **HISTOGRAMA** é uma ferramenta poderosa na análise da **capacidade do processo**.

A construção de um histograma é simples e pode ser feita de várias maneiras. Apresentamos a seguir uma sugestão, com os seguintes passos:

Passo 1: Coletar pelo menos 50 dados (n).

Passo 2: Localizar o menor valor (V_{menor}) e o maior valor (V_{maior}) na amostra:

Passo 3: Calcular a amplitude total (AT) dos dados

Passo 4: Determinar o número de classes (k), ou número de intervalos. Não existe uma regra fixa. Em geral se utiliza a raiz quadrada de n , o tamanho amostral. Uma boa opção é utilizar o seguinte quadro:

TAMANHO DA AMOSTRA	NÚMERO DE INTERVALOS
--------------------	----------------------

(n)	(k)
Menor que 50	Use k entre 5 e 7
Maior ou igual a 50 e Menor que 100	Use k entre 6 e 10
Maior ou igual a 100 e Menor que 250	Use k entre 7 e 12
Maior ou igual a 250	Use k entre 10 e 20

Passo 5: Calcule a amplitude de cada classe (h), dividindo a amplitude total (AT) pelo número de classes escolhidas (k)

Passo 6: Construa uma tabela de frequências, conforme a estrutura abaixo:

Intervalos de Classes	Frequências de Classes
$\text{Lin}f_1 \mid \text{---} \text{Lsup}_1$	F_1
$\text{Lin}f_2 \mid \text{---} \text{Lsup}_2$	F_2
$\text{Lin}f_3 \mid \text{---} \text{Lsup}_3$	F_3
.	.
.	.
.	.
$\text{Lin}f_k \mid \text{---} \text{Lsup}_k$	F_k
Total	N

A frequência (F_i $i=1, 2, 3, \dots, k$ classes) é o número de elementos pertencentes a cada classe. Deve-se então verificar quantos elementos estão localizados nas classes $I \mid \text{---} I+h$ (primeira classe); $I+h \mid \text{---} I+2h$ (Segunda classe) e assim por diante.

Importante:

- $\mid \text{---}$ Significa que o limite inferior da classe está incluído no

intervalo

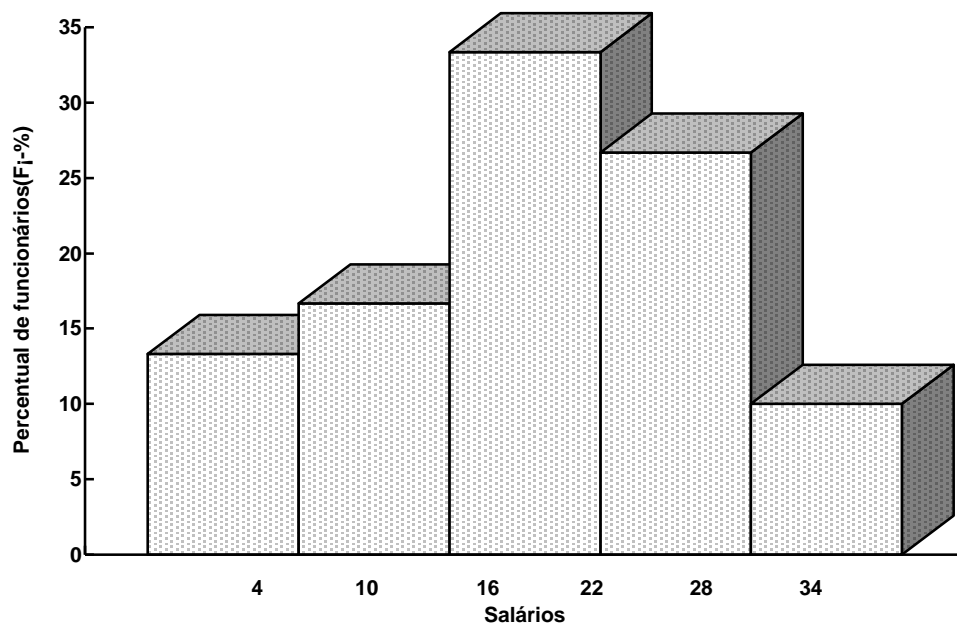
- —| Significa que o limite superior da classe está incluído no intervalo
- |— Significa que os dois extremos dos intervalos estão incluídos na classe

Cada elemento deve pertencer a somente uma classe

Passo 7: Desenhe o histograma (conforme figura abaixo), marcando no eixo vertical as freqüências das classes (alturas das barras verticais) e no eixo horizontal os limites de cada classe. As escalas devem ser aproximadamente de mesmo tamanho.

Passo 8: Escreva o título, número de dados, período de coleta e demais informações que julgar relevantes para a identificação dos dados.

Distribuição Salarial da Empresa EXPORTAÇÃO - 2005



INTERPRETAÇÃO:

Uma leitura atenta do histograma deve responder a questões como: Qual é a forma de distribuição? Existe um ponto central bem definido? Quão grande é a variação? Qual é a amplitude dos dados? Existe apenas um pico? A distribuição é simétrica? Existem barras isoladas? Quais as conclusões que você pode tirar sobre o desempenho do processo em relação à característica estudada? O histograma é conclusivo ou seu aspecto sugere a necessidade de estratificação para buscar as causas das anomalias encontradas?

APLICAÇÃO 5:

Construir um histograma dos seguintes dados: amostra de 81 registros de tempos (em minutos) de atendimento em uma determinada loja.

23	24	24	24	26	27	27	28	28	28	29	29	29
30	30	30	31	31	31	31	31	33	33	34	34	35
35	35	35	35	35	36	36	37	37	37	37	38	38
38	39	39	39	40	40	40	40	40	41	41	41	42
42	42	43	43	43	44	44	45	45	45	45	45	46
46	47	47	49	49	50	52	54	54	55	56	56	57
59	59	59										

5. Avaliação da qualidade das medidas

A avaliação do sistema de medição é uma etapa importante dentro com controle estatístico do processo.

Um processo pode se revelar fora do estado de controle simplesmente pela não adequação do sistema de medição.

Alguns conceitos importantes:

- ✓ **Vício.** O vício de um instrumento de medição quantifica a diferença entre o valor real da característica medida e a média da distribuição das medidas fornecidas pelo aparelho de medição.
- ✓ **Precisão.** Quantifica a proximidade entre as medidas individuais da característica de interesse geradas pelo aparelho de medição.
- ✓ **Acurácia ou exatidão.** Quantifica a proximidade existente entre o valor real da característica medida e os resultados fornecidos pelo aparelho.

5.1 Repetitividade

A repetitividade de um instrumento de medição é a variação nas medidas obtidas quando um operador utiliza o instrumento para medir repetidas vezes a característica de interesse dos mesmos itens.

Notação:

σ_{REPE} = quantificação da repetitividade

Na maioria das vezes espera-se que as medidas tenham uma distribuição normal. Neste caso, sabe-se que aproximadamente 99,73% das medidas

deverão estar no intervalo [média \pm 3*desvios-padrão]. O desvio-padrão da distribuição é o σ_{REPE} – quando não há reprodutibilidade $\sigma_{REPE} = \sigma_{MEDIÇÃO}$.

Para que o equipamento apresente uma repetitividade adequada espera-se que a amplitude $6*\sigma_{REPE}$ da distribuição das medidas seja pequena quando comparada com a faixa de especificação do projeto [LSE – LIE], onde LSE=Límite superior especificação e LIE=Límite inferior de especificação.

Alguns fatores que podem levar a uma baixa repetitividade de um instrumento de medição:

- ✓ Falta de limpeza ou de manutenção do equipamento
- ✓ Condições ambientais
- ✓ Desgaste de componentes do instrumento
- ✓ Inadequados procedimentos de medição
- ✓ Projeto inadequado do instrumento

A porcentagem da tolerância (PT) compara a capacidade do instrumento de medição com a faixa de especificação. É dada por:

$$PT = \frac{6 * \hat{\sigma}_{MEDIÇÃO}}{LSE - LIE} * 100 \quad \text{onde} \quad \hat{\sigma}_{MEDIÇÃO} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad \text{e} \quad \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k}$$

sendo que k é o número de itens amostrado para a medição, n o número que cada item é medido, d_2 é uma constante tabelada em função do número de vezes que cada item é medido, e R_i é a amplitude correspondente às medições do i-ésimo item medido, com $i = 1, 2, 3, \dots, k$.

Para $n = 2, 3$ e 4 os valores de d_2 são, respectivamente, 1,128, 1,693 e 2,059.

Se PT da medição é no máximo 10%, então o instrumento de medição é adequado.

APLICAÇÃO 6:

Os dados abaixo correspondem a uma amostra de 20 rolhas metálicas para o estudo da repetitividade, cuja característica analisada é a altura da rolha. A faixa de especificação é [5,80 ; 6,20].

Amostras	Medidas		Medidas Estatísticas	
	1ª	2ª	Médias	Amplitude
1	5,99	5,98		
2	5,97	5,99		
3	6,00	6,00		
4	5,98	5,99		
5	5,99	6,02		
6	6,01	5,98		
7	6,02	6,00		
8	5,98	5,98		
9	5,99	5,98		
10	6,00	5,98		
11	5,97	5,97		
12	6,02	5,99		
13	6,01	6,00		
14	5,99	5,99		
15	6,01	5,99		
16	5,99	5,99		
17	5,99	5,98		
18	5,99	5,99		
19	6,01	6,00		
20	5,98	6,01		
SOMAS	-----	-----		
MÉDIAS	-----	-----		

5.2 Reprodutibilidade

A reprodutibilidade de um instrumento de medição é a variação na média das medidas obtidas quando diferentes operadores utilizam o instrumento de medição para medir repetidas vezes a característica de interesse dos mesmos itens.

Notação:

σ_{REPRO} = quantificação da reprodutibilidade

Alguns fatores que podem conduzir a uma reprodutibilidade inadequada:

- ✓ Utilização de diferentes procedimentos de medição por parte dos operadores
- ✓ Treinamento insuficiente dos operadores
- ✓ Projeto inadequado do instrumento, permitindo interpretações subjetivas

Estimando a repetitividade e a reprodutibilidade da aplicação 7.

Repetitividade

É estimada a partir da média aritmética das três amplitudes médias:

$$\bar{\bar{R}} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{R}_i}{m} \quad \text{Para este exemplo } m = 3 \text{ (número de operadores)}$$

a repetitividade do instrumento será medida por:

$$\hat{\sigma}_{\text{REPE}} = \frac{\bar{\bar{R}}}{d_2} \quad \text{onde } d_2 \text{ é obtido na tabela para } n = 2 \text{ e } PT_{\text{REPE}} = \frac{6 * \hat{\sigma}_{\text{REPE}}}{LSE - LIE} * 100$$

Aplicação 7:

As medidas correspondem à amostra da aplicação 6, agora com 3 operadores realizando as medidas.

Amost.	Operador 1				Operador 2				Operador 3			
	1ª.	2ª.	Méd	Amp	1ª.	2ª.	Méd	Amp	1ª.	2ª.	Méd	Amp
1	5,99	5,98			5,97	5,99			6,00	5,99		
2	5,97	5,99			6,00	6,00			6,00	6,00		
3	6,00	6,00			6,02	6,00			6,01	6,00		
4	5,98	5,99			5,99	5,98			5,99	5,98		
5	5,99	6,02			6,01	6,02			6,01	5,98		
6	6,01	5,98			5,98	6,01			5,99	5,99		
7	6,02	6,00			6,00	6,00			6,01	6,00		
8	5,98	5,98			5,98	5,97			6,00	5,99		
9	5,99	5,98			5,99	5,99			5,99	5,98		
10	6,00	5,98			6,01	5,98			5,98	6,01		
11	5,97	5,97			6,00	5,98			5,98	5,99		
12	6,02	5,99			5,97	5,99			5,98	5,97		
13	6,01	6,00			6,01	6,02			6,01	6,01		
14	5,99	5,99			6,00	5,98			6,00	6,02		
15	6,01	5,99			6,00	6,00			6,01	6,00		
16	5,99	5,99			6,00	5,99			5,98	6,00		
17	5,99	5,98			5,97	5,99			5,99	5,99		
18	5,99	5,99			5,98	6,03			5,99	6,00		
19	6,01	6,00			6,02	6,01			6,01	6,02		
20	5,98	6,01			6,03	6,00			5,98	6,00		
SOMA	-----	-----			-----	-----			-----	-----		
MÉDIA	-----	-----			-----	-----			-----	-----		

Reprodutibilidade

Analisando a tabela acima, observa-se que se as médias entre os operadores diferem, isto decorre da diferença entre eles, uma vez que medem os mesmos itens.

Para estimar a reprodutibilidade define-se a amplitude:

$$R_{\bar{X}} = \bar{X}_{\text{MÁX}} - \bar{X}_{\text{MÍN}} \quad \text{onde:} \quad \bar{X}_{\text{MÁX}} = \text{máx}(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3) \quad \text{e} \quad \bar{X}_{\text{MÍN}} = \text{mín}(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3)$$

A reprodutibilidade do instrumento de medição é estimada por:

$$\hat{\sigma}_{\text{REPRO}} = \sqrt{\left(\frac{R_{\bar{X}}}{d_2}\right)^2 - \frac{(\hat{\sigma}_{\text{REPE}})^2}{n * k}}$$

O valor de d_2 é obtido na tabela para $n=3$ porque a amplitude $R_{\bar{X}}$ é determinada para uma amostra de tamanho 3 (número de operadores). A letra n na fórmula significa o número de medições de cada item por cada operador, e k o número de itens medidos.

O percentual de tolerância associada à reprodutibilidade (PT_{REPRO}) é

$$PT_{\text{REPRO}} = \frac{6 * \hat{\sigma}_{\text{REPRO}}}{LSE - LIE} * 100$$

Por fim, para a estimação da capacidade do sistema de medição define-se a seguinte equação.

$$\hat{\sigma}_{\text{MEDIÇÃO}}^2 = \hat{\sigma}_{\text{REPE}}^2 + \hat{\sigma}_{\text{REPRO}}^2$$

Isto é, a variabilidade do sistema de medição é a soma da variabilidade devido à repetitividade com a variabilidade devido à reprodutibilidade.

E assim o percentual de tolerância do instrumento de medição é calculado como

$$PT_{\text{MEDIÇÃO}} = \frac{6 * \hat{\sigma}_{\text{MEDIÇÃO}}}{LSE - LIE} * 100$$

Procedimentos para a avaliação do sistema de medição

1. Selecionar aleatoriamente pelo menos 10 unidades do produto para serem medidas.
 2. Recomenda-se que as unidades selecionadas estejam dentro da faixa de especificação do projeto.
 3. Rotular cada unidade selecionada para facilitar a identificação.
 4. Medir cada unidade uma vez, aleatoriamente, e registrar a leitura em uma folha de verificação apropriada.
 5. Medir uma segunda vez cada unidade, aleatoriamente, e registrar a leitura em **outra** folha de verificação.
 6. Manter registros **separados** para cada operador que participar do processo. (Cada operador não deve tomar conhecimento das medições dos outros operadores).
 7. Rever o método de medição para que ele seja executado corretamente.
-

5.3 Vício de sistema de medição

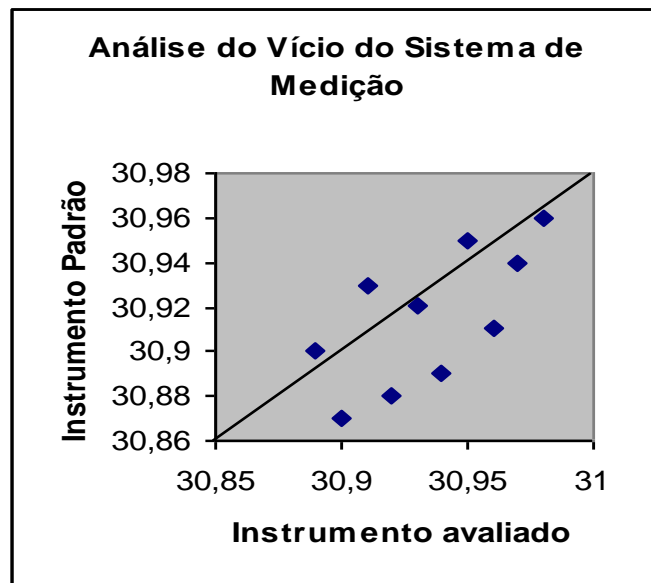
A avaliação do vício de um instrumento de medição consiste em investigar a diferença entre as medidas efetuadas por um “instrumento padrão” e o instrumento de medição que está sendo avaliado.

Uma forma simples de se avaliar o vício consiste em selecionar aleatoriamente uma amostra de pelo menos $k=10$ unidades do produto e medir, aleatoriamente, cada unidade 2 vezes por um mesmo operador: a primeira medição feita com o instrumento a ser avaliado; e a segunda pelo instrumento padrão. Após as medições construir um diagrama de dispersão.

Caso os pontos estejam concentrados em torno de uma linha de 45 graus, terá sido obtida uma indicação de que o instrumento de medição não produz leituras viciadas.

Os dados da tabela abaixo representam as medidas do diâmetro, para investigar o vício do sistema de medição.

Amostra	Instrumento avaliado	Instrumento padrão
1	30,94	30,89
2	30,96	30,91
3	30,95	30,95
4	30,90	30,87
5	30,89	30,90
6	30,97	30,94
7	30,93	30,92
8	30,92	30,88
9	30,98	30,96
10	30,91	30,93



A figura acima revela um vício positivo no instrumento de medição avaliado.

5.4 Adequação da unidade de medida

A utilização de unidades não apropriadas no sistema de medição gera dificuldade na distinção de valores imediatamente próximos da característica que está sendo medida.

É importante, portanto, investigar o poder de discriminação do instrumento. Entende-se por discriminação, ou resolução, a menor unidade que pode ser lida no instrumento.

Uma sugestão simples consiste em verificar a seguinte relação:

A menor unidade da escala do instrumento de medição deverá ser de no máximo 10% da largura da faixa de especificação de projeto para que o instrumento possua uma boa discriminação.

Por exemplo: se a largura da especificação é 0,30, a menor unidade do instrumento de medida deverá ser de no máximo 0,03.

6. Gráficos (cartas) de controle

6.1 Conceitos importantes

Existem dois tipos de causas para a variação na qualidade dos produtos e serviços provenientes de um processo: **Causas Comuns e Causas Especiais**.

♦ Causas comuns

A variação por causas comuns é aquela inerente ao processo, resultante da soma de um grande número de pequenas variações nas suas causas. Isto significa que a quantidade de variabilidade se mantém numa faixa estável.

♦ Causas especiais

Ao contrário das comuns, não fazem parte do processo o tempo todo. Surgem ocasionalmente devido a uma causa específica, levando a resultados estranhos quando comparada à inerente ao processo. Estas causas devem ser imediatamente pesquisadas e bloqueadas. Um processo está "sob controle estatístico" ou simplesmente "sob controle", se está operando com apenas causas comuns de variação. Estar sob controle significa que o processo é previsível e pode ser controlado.

Exemplos:

Causas Comuns: Instruções/Procedimentos confusos, não-homogeneidade de materiais, manutenção, flutuações de corrente, deficiências de projetos, etc.

Causas Especiais: Quebra de ferramenta/Máquina, funcionário não treinado, erro humano, picos de corrente, mudança de método, procedimentos não executados, etc.

Uma ferramenta útil para verificar se a variabilidade do processo é devida a causas comuns e/ou causas especiais são os Gráficos de Controle.

♦ Gráficos de Controle - Conceito

Consiste em um Gráfico de acompanhamento com uma linha superior (limite superior de controle) e uma linha inferior (limite inferior de controle) em cada lado da linha média do processo, todos *estatisticamente* determinados.

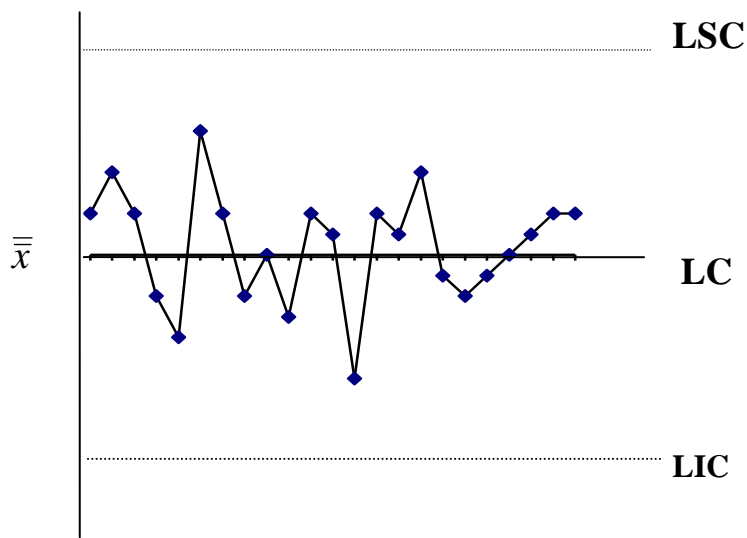


Gráfico de controle com processo sob controle

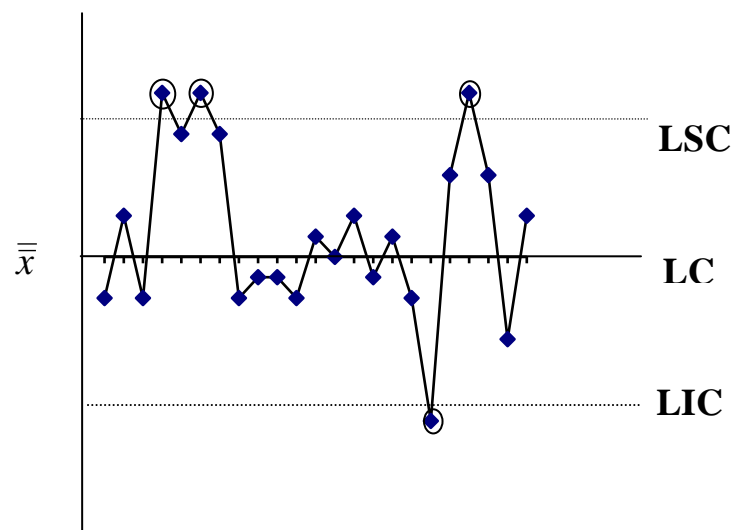


Gráfico de controle para processo fora de controle

onde: LIC = Limite Inferior de Controle
 LC = Linha Central
 LSC = Limite Superior de Controle

O procedimento consiste em plotar médias retiradas do processo e verificar se os pontos estão dentro dos limites de controle e não formam padrões “definidos”. Caso isto aconteça, dizemos que o processo está sob controle estatístico.

Constituem-se de uma poderosa ferramenta no controle estatístico do processo na grande maioria das situações operacionais.

6.2 A distribuição normal

Um conjunto de dados segue aproximadamente uma distribuição normal, quando o seu histograma tem a forma de um **SINO**.

Existe um teorema (Teorema Central do Limite), que garante que a distribuição amostral da média segue uma distribuição normal para “o tamanho amostral suficientemente grande”.

Uma ilustração:

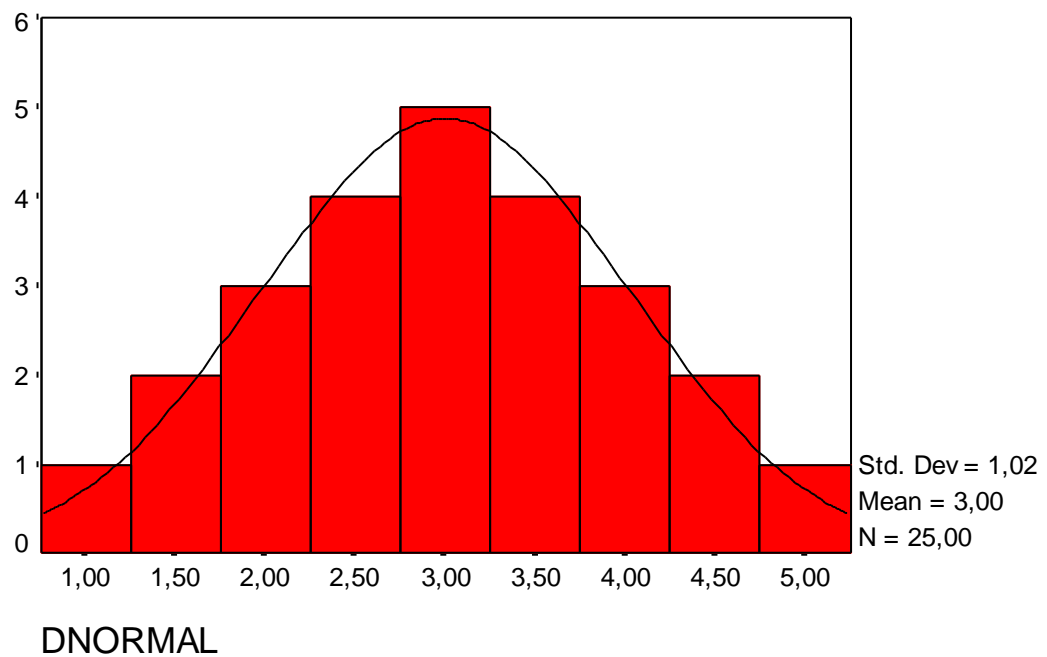
Suponha que temos uma população formada pelos seguintes elementos:

1, 2, 3, 4 e 5.

1. Tomar todas as amostras de tamanho 2 com reposição
2. Calcular a média de cada amostra
3. Elaborar um Histograma para estas médias

1 e 2 itens

Amostras Possíveis	Média da Amostra
1,1	1
1,2	1,5
1,3	2
1,4	2,5
1,5	3
2,1	1,5
2,2	2
2,3	2,5
2,4	3
2,5	3,5
3,1	2
3,2	2,5
3,3	3
3,4	3,5
3,5	4
4,1	2,5
4,2	3
4,3	3,5
4,4	4
4,5	4,5
5,1	3
5,2	3,5
5,3	4
5,4	4,5
5,5	5

Item 3**Histograma para a Distribuição das Médias Amostrais**

O histograma apresenta uma forma de um sino, indicando uma distribuição normal.

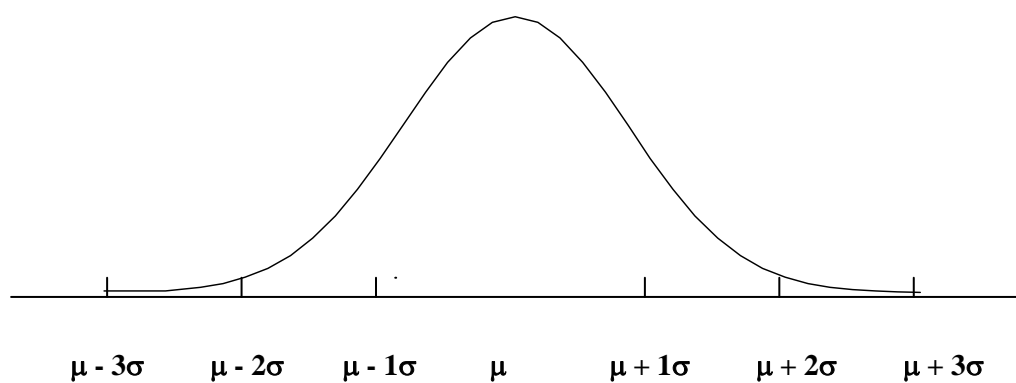
Uma variável **X**, que segue uma distribuição aproximadamente normal com média μ e variância σ^2 , tem a notação abaixo:

$$X \sim N(\mu, \sigma^2)$$

Algumas probabilidades da distribuição Normal

Intervalo	Probabilidade	
	Interna	Externa
$\mu \pm 1\sigma$	68,26%	31,74%
$\mu \pm 2\sigma$	95,46%	4,54%
$\mu \pm 3\sigma$	99,73%	0,27%

Representação Gráfica



6.3 Subgrupos racionais

A formação adequada dos subgrupos racionais é fundamental para que seja construído um gráfico de controle realmente útil.

Na formação dos subgrupos é necessário considerar que as variações provocadas por causas especiais, se estiverem presentes, deverão aparecer entre subgrupos e então tentar agrupar os dados de forma que a variabilidade resultante da atuação das causas aleatórias construa a variação dentro do subgrupo.

Dentro de cada subgrupo racional as variações deverão ser provocadas apenas por causas aleatórias.

Duas abordagens gerais que podem ser utilizadas para a construção de subgrupos racionais:

1. Cada amostra consiste de unidades que foram produzidas no mesmo momento ou em instantes de tempo os mais próximos possíveis. Ela minimiza a possibilidade da presença de variabilidade devido a causas especiais dentro de uma amostra e maximiza a possibilidade da ocorrência de variabilidade entre amostras, se as causas especiais estiverem presentes.
2. Cada amostra consiste de unidades do produto que são representativos de todas as unidades produzidas desde que a última amostra foi retirada. Basicamente é uma amostra aleatória de toda a produção do processo durante o intervalo de amostragem. Frequentemente usado quando o gráfico de controle é empregado na tomada de decisão sobre a aceitação de todas as unidades produzidas desde o instante em que a última amostra foi retirada.

6.4 Gráficos de controle por variáveis

Adequadas quando as amostras são expressas em unidades quantitativas de medida, como por exemplo: comprimento, peso, tempo, taxas, etc.

6.4.1 Gráficos de controle para a média e amplitude

Para a construção do gráfico para a média, em geral, o procedimento consiste em tomar cerca de 25 subgrupos, representativos do processo, com quatro ou cinco elementos cada.

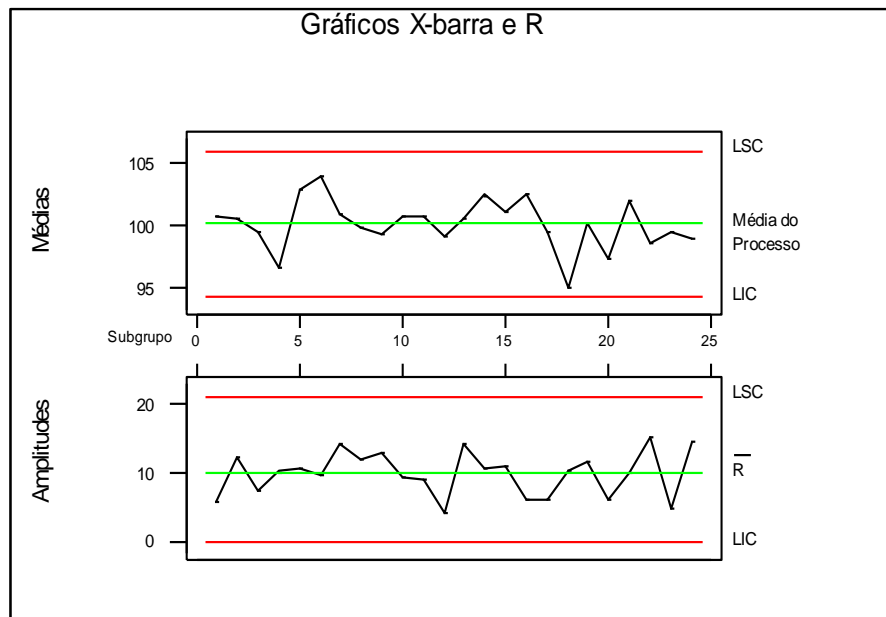


IMPORTANTE

Paralelo ao gráfico para a média, plota-se também o gráfico para a amplitude, normalmente denominado de Carta de R

O quadro abaixo fornece um procedimento para determinar a construção dos gráficos para a média e a amplitude:

Gráficos de Controle $\bar{X} - R$



Calcule a Média (\bar{x}) e a Amplitude (R) para cada um dos j subgrupos:

$$\bar{x}_j = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad \text{onde } n \text{ é o tamanho do subgrupo (quatro ou cinco)}$$

$$R_j = x_{\max} - x_{\min} \quad \text{com } j = 1, 2, 3, \dots, k$$

Calcule a Amplitude Média (\bar{R}) e a Média do Processo ($\bar{\bar{x}}$):

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_k}{k}; \quad \bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k}$$

Cálculo dos Limites de Controle

Gráfico \bar{x} :

$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

$$A_2 = 0,729 \text{ para } n = 4$$

$$A_2 = 0,577 \text{ para } n = 5$$

Gráfico R :

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

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

$$D_3 = 0 \text{ para } n = 4 \text{ ou } n = 5$$

$$D_4 = 2,282 \text{ para } n = 4$$

$$D_4 = 2,115 \text{ para } n = 5$$

6.4.2 Gráficos de controle para média e desvio-padrão

É melhor adequado quando:

i) $n > 10$ ou 12 (n moderadamente grande)

ii) n variável

♦ Se a distribuição de X é normal, então

i) $E(S) = C_4 * \sigma$

ii) $\sigma_S = \sqrt{1 - C_4^2}$

a) Gráfico para S

a.1 Quando σ for conhecido

$$LSC = E(S) + 3 \sigma_S$$

$$LSC = C_4 * \sigma + 3 \sigma \sqrt{1 - C_4^2}$$

$$LSC = \sigma (C_4 + 3 \sqrt{1 - C_4^2})$$

$$\rightarrow LSC = \sigma B_6$$

$$\rightarrow LC = C_4 * \sigma$$

$$LIC = E(S) - 3 * \sigma_S$$

$$LIC = C_4 * \sigma - 3 \sigma \sqrt{1 - C_4^2}$$

$$LIC = \sigma (C_4 - 3 \sqrt{1 - C_4^2})$$

$$\rightarrow LIC = \sigma * B_5$$

Neste caso o gráfico para \bar{X} é

$$\rightarrow \text{LSC} = \mu + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\rightarrow \text{LIC} = \mu - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

a.2 Quando σ for desconhecido

Considerando k amostras e tamanho n, temos

$$\text{LSC} = \bar{S} + 3 \frac{\bar{S}}{C_4} \sqrt{1 - C_4^2}$$

$$\text{LSC} = \bar{S} \left(1 + 3 \frac{1}{C_4} \sqrt{1 - C_4^2} \right)$$

$$\rightarrow \text{LSC} = \bar{S} B_4$$

$$\rightarrow \text{LC} = \bar{S}$$

$$\text{Com } \bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^k S_i}{k}$$

$$\text{LIC} = \bar{S} - 3 \frac{\bar{S}}{C_4} \sqrt{1 - C_4^2}$$

$$\text{LIC} = \bar{S} \left(1 - 3 \frac{1}{C_4} \sqrt{1 - C_4^2} \right)$$

$$\rightarrow \text{LIC} = \bar{S} B_3$$

Neste caso os limites de controle para o gráfico para \bar{X} são:

$$\text{LSC} = \bar{\bar{X}} + 3\sigma_{\bar{X}}$$



$$\text{LIC} = \bar{\bar{X}} - 3\sigma_{\bar{X}}$$

$$\text{LSC} = \bar{\bar{X}} + 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$



$$\text{LIC} = \bar{\bar{X}} - 3 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\text{LSC} = \bar{\bar{X}} + 3 \frac{\bar{S}}{C_4 \sqrt{n}}$$



$$\text{LIC} = \bar{\bar{X}} - 3 \frac{\bar{S}}{C_4 \sqrt{n}}$$

$$\rightarrow \text{LSC} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{S}$$



$$\rightarrow \text{LIC} = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{S}$$

e a $LC = \bar{\bar{X}}$

b) Gráfico de controle para $\bar{\bar{X}}$ e S quando n é variável.

Seja n_i o número de observações da i-ésima inspeção, então:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i \bar{X}_i}{\sum_{i=1}^k n_i} \quad \text{e} \quad \bar{S} = \left(\frac{\sum_{i=1}^k (n_i - 1) S_i^2}{\sum_{i=1}^k n_i - k} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Para os limites de controles A_3 , B_3 e B_4 dependem do tamanho amostral usado em cada subgrupo individual.

OBSERVAÇÃO: A_3 , B_3 , B_4 , B_5 , B_6 e C_4 são função de n e tabelados.

Aplicação 9: Elabore o gráfico de controle para $\bar{\bar{X}}$ e S, para os dados da aplicação 8.

6.4.3 Gráficos de controle para medidas individuais - Gráficos X e AM

Adequado nas seguintes situações:

- i) Emprego de inspeções automatizadas, onde toda unidade produzida é avaliada.
- ii) Processo apresenta baixa taxa de produção, não sendo conveniente que tamanhos amostrais superiores a um se acumulem.
- iii) Processos onde as medidas diferem somente em razão de erros laboratoriais ou de análises, como em muitos processos químicos.
- iv) A formação de subgrupos não é eficaz.

Para a construção dos gráficos X e AM (Amplitude Móvel) é utilizado:

$$AM_i = |X_i - X_{i-1}| \quad \text{"| | = resultado em módulo = sempre positivo"}$$

Com $i = 1, \dots, k$

e

$$\overline{AM} = \frac{AM_1 + AM_2 + \dots + AM_{k-1}}{k-1}$$

As expressões para os limites de controle são:

i) Para o gráfico X

$$LSC = \bar{X} + 3 * \sigma_x = \bar{X} + 3 \frac{\overline{AM}}{d_2} \quad LC = \bar{X} \quad LIC = \bar{X} - 3 * \sigma_x = \bar{X} - 3 \frac{\overline{AM}}{d_2}$$

ii) Para o gráfico AM

$$LSC = \overline{AM}D_4$$

$$LC = \overline{AM}$$

$$LIC = \overline{AM}D_3$$

Onde d_2 , D_3 e D_4 são tabelados e são obtidos utilizando $n=2$, já que os gráficos são baseados em uma amplitude móvel de $n = 2$ observações.

Devemos tomar cuidado na interpretação das configurações no gráfico AM. As amplitudes móveis são correlacionadas, e esta correlação pode freqüentemente levar ao aparecimento de configurações do tipo seqüência ou periodicidade no gráfico AM, mesmo quando o processo está sob controle.

Observação:

Uma suposição importante para a construção dos gráficos de X e AM é que as observações devem seguir a distribuição normal (histograma em forma de sino).

Quando as observações não são normais (são assimétricas) é utilizada uma transformação para tornar as observações normalmente distribuídas. Em geral aplicação as transformações

$$X \rightarrow \sqrt{X} \quad \text{ou} \quad X \rightarrow \log X$$

7. Processos autocorrelacionados

Para utilizar os gráficos tradicionais abordados na **seção 6**, anterior, é necessário que as observações da característica da qualidade monitorada sejam independentes e normalmente distribuídas.

Mesmo que a hipótese de normalidade seja ligeira ou moderadamente violada, os gráficos tradicionais ainda funcionam razoavelmente.

7.1 Conceito

A autocorrelação é uma característica que existe em alguns processos produtivos, que faz com que os dados não sejam mais independentes ao longo do tempo.

A autocorrelação ou interdependência entre os dados conduz à ocorrência de sucessivos alarmes falsos no processo. A variabilidade do processo é subestimada.

A autocorrelação é extremamente freqüente em processos contínuos ou em bateladas, principalmente nas indústrias químicas e metalúrgicas.

Contudo, em processos discretos altamente automatizados é freqüente a ocorrência da autocorrelação.

É importante, portanto, investigar a existência da estrutura de autocorrelação na definição do gráfico de controle.

7.2 Identificação de processos autocorrelacionados

A identificação do grau e intensidade de processos autocorrelacionados é feita usualmente por meio do coeficiente de autocorrelação, que é semelhante ao coeficiente de correlação linear de Pearson.

$$r(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^{n-L} (X_i - \bar{X})(X_{i+L} - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

Onde L = “Lag” do inglês = distância

Na prática, utiliza-se a seguinte regra: se o coeficiente de autocorrelação for no máximo 0,20, o processo é considerado não autocorrelacionado e, então, pode se aplicar os gráficos de controle convencionais.

Aplicação 10:

A tabela abaixo apresenta as médias de 20 amostras de tamanho 4 laterais de fogão, cuja característica de interesse é a camada de tinta. Essas médias é que são plotadas no gráfico de X-barra.

$$R(X_i, X_{i+1}) = \frac{34,88688}{110,3625} = 0,3161$$

Como o coeficiente de autocorrelação é maior 0,20, então o processo é autocorrelacionado, o que pode levar a alta incidência de alarmes falsos.

Nº do Subgrupo	\bar{X}_i	\bar{X}_{i+1}	$(\bar{X}_i - \bar{\bar{X}}) * (\bar{X}_{i+1} - \bar{\bar{X}})$	$(\bar{X}_i - \bar{\bar{X}})^2$
1	31,75	32,25	2,263125	3,150625
2	32,25	31,00	3,219375	1,625625
3	31,00	34,25	-1,83063	6,375625
4	34,25	36,50	2,156875	0,525625
5	36,50	35,25	5,131875	8,850625
6	35,25	34,50	1,681875	2,975625
7	34,50	30,50	-2,94938	0,950625
8	30,50	33,25	0,831875	9,150625
9	33,25	31,50	0,556875	0,075625
10	31,50	31,00	5,113125	4,100625
11	31,00	30,50	7,638125	6,375625
12	30,50	36,75	-9,75563	9,150625
13	36,75	33,25	-0,88687	10,400625
14	33,25	34,75	-0,33687	0,075625
15	34,75	39,25	7,013125	1,500625
16	39,25	35,50	11,30688	32,775625
17	35,50	35,00	2,913125	3,900625
18	35,00	32,50	-1,51188	2,175625
19	32,50	31,25	2,331875	1,050625
20	31,25	-----	-----	5,175625
SOMA	-----	-----	34,88688	110,3625
MÉDIA	33,525	-----	-----	-----

Uma alternativa simples para solucionar o problema:

Utilizar para o gráfico das médias, limites de controle alargados.

Os novos limites de controle são:

$$LIC = \bar{\bar{X}} - 3 * \frac{S_{\bar{X}}}{c_4} \quad \text{e} \quad LSC = \bar{\bar{X}} + 3 * \frac{S_{\bar{X}}}{c_4}$$

onde c_4 é tabelado, agora em função dos k subgrupos (amostras) e

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k (\bar{X}_j - \bar{\bar{X}})^2}{k-1}}$$

8. Gráficos de controle por atributos

8.1 Gráficos de controle para a proporção (p)

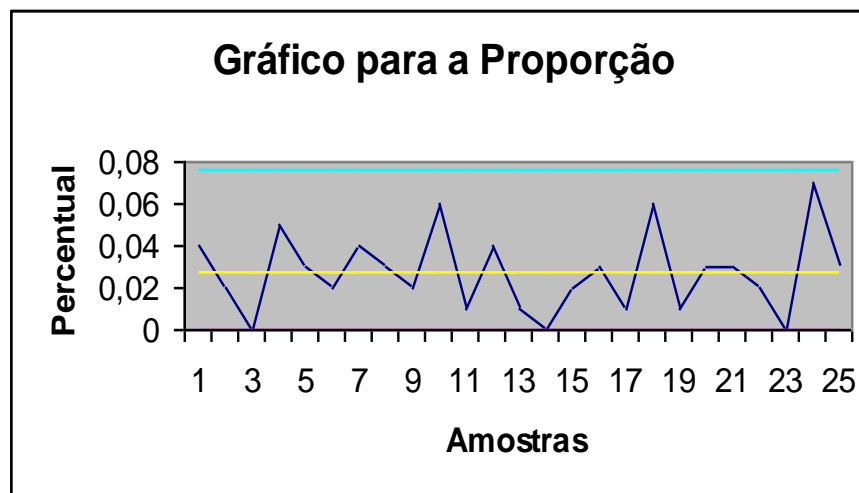
Adequado quando as amostras refletem características qualitativas. O gráfico **p** é utilizado para situações onde o produto/serviço é considerado conforme ou não conforme.

Recomenda-se tamanho de subgrupos maiores que 50 com a presença de pelo menos um item não-conforme por subgrupo (amostra) - o valor de n , o tamanho amostral, deve ser tal que existam, em média, entre 1 e 5 itens defeituosos por amostra. Assim sendo, quanto melhor a qualidade, tanto maior o tamanho do subgrupo necessário para detectar falta de controle.



Importante

- O gráfico-p é deve ser aplicado quando os tamanhos dos subgrupos são variáveis, pois este terá uma única linha média.
- Caso os tamanhos dos subgrupos sejam diferentes e variem pouco, os limites do gráfico-p podem ser construídos com base no maior tamanho da amostra, pois terão limites mais estreitos. Se algum ponto cair fora dos limites de controle, deve ser comparador com os limites exatos para que se possa tomar a decisão de estado fora de controle do processo.
- Os limites de controle aqui determinados são baseados na aproximação da distribuição Binomial pela distribuição Normal. A aproximação é válida se $np > 5$ e $n(1-p) > 5$.



Calcule a fração de não-conformes para cada um dos j subgrupos:

$$p_j = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \text{ onde } n \text{ é o tamanho do subgrupo, e } j = 1, 2, 3, \dots, k$$

$x_i = 0$ para item conforme; $x_i = 1$ para item não-conforme; $i=1, \dots, n$.

Calcule a fração não-conforme Média (\bar{p}) de todos os subgrupos:

$$\bar{p} = \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_k}{k};$$

Cálculo dos Limites de Controle

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

Trace a linha central e os limites de controle superior e inferior. Registre a fração não-conforme para cada subgrupo. Se LIC for negativo, assumir LIC = 0.

Aplicação 11:

Construir o gráfico p para os dados abaixo.

Nº DO SUBGRUPO	TAMANHO DO SUBGRUPO	X (número de itens defeituosos)	PROPORÇÃO
1	100	4	
2	100	2	
3	100	0	
4	100	5	
5	100	3	
6	100	2	
7	100	4	
8	100	3	
9	100	2	
10	100	6	
11	100	1	
12	100	4	
13	100	1	
14	100	0	
15	100	2	
16	100	3	
17	100	1	
18	100	6	
19	100	1	
20	100	3	
21	100	3	
22	100	2	
23	100	0	
24	100	7	
25	100	3	
TOTAL			

8.2 Gráficos de controle para o número de itens defeituosos (np)

Este gráfico é equivalente ao Gráfico **p**.

Os limites de controle são dados por:

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

$$LC = \bar{\bar{np}}$$

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

Com $\bar{\bar{p}} = \frac{\sum_{j=1}^k p_j}{k} = \frac{\sum_{j=1}^k \frac{X_j}{n}}{k} = \frac{\sum_{j=1}^k X_j}{nk}$, onde X_j = número de itens defeituosos na j -ésima amostra.

Observação Importante: Veja que os limites de controle para o Gráfico np é n vezes o limite de controle para o gráfico p.

8.3 Gráficos de controle para o número de defeitos na amostra (c)

É adequado quando se deseja controlar o número total de defeitos na **amostra** (alguns autores preferem dizer número de defeitos por **unidade**) do produto.

Para evitar problemas de interpretações, adota-se aqui o termo **amostra**.

A amostra pode ser medida em intervalo de tempo (1 hora, 2 horas, etc.), espaço (comprimento: 1 m, 5 m ; área: 1 m² , 3 m², etc.; ou volume: 1m³, 4m³).

Para o caso de produtos físicos pode ser: uma chapa metálica, 10 rádios, 100 metros de tubulação, etc.

Isto quer dizer que uma amostra de produto não significa necessariamente amostra de **UM ÚNICO PRODUTO**.

Na prática, devemos fixar o tamanho de cada amostra de forma conveniente para a sua coleta e registro.

Procedimentos Gerais para a Construção do Gráfico para c

1. Coletar k amostras de mesmo tamanho do processo
2. Determinar o número (c_i) de defeitos de cada amostra
3. Calcular o número médio de defeitos por amostra

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

4. Calcular os limites de controle

$$LSC = \bar{C} + 3 * \sqrt{\bar{C}}$$

$$LC = \bar{C}$$

$$LIC = \bar{C} - 3 * \sqrt{\bar{C}}$$

Observações: 1. Quando a média da distribuição de Poisson, $E(C) = \lambda t > 5$, a distribuição de Poisson pode ser aproximada pela distribuição Normal.
 2. Se LIC for negativo, assume zero.

5. Traçar os limites de controle
 6. Marcar os pontos no gráfico e construir um gráfico de linhas
 7. Interpretar o gráfico
-

Importante: Para a aplicação do Gráfico c deve existir uma infinidade de oportunidades (quantidade de pontos) para a ocorrência de não-conformidades (defeitos), porém, o evento associado à ocorrência de uma não conformidade específica deve ser raro, isto é, a probabilidade de ocorrer um defeito em qualquer ponto é pequena.

Aplicação 12:

Construção do gráfico c

Número do Subgrupo	Tamanho amostral	Número de defeitos (C)	Número médio de defeitos por produto $U=C/n$
1	10	21	
2	10	24	
3	10	16	
4	10	12	
5	10	15	
6	10	5	
7	10	28	
8	10	20	
9	10	31	
10	10	25	
11	10	20	
12	10	24	
13	10	16	
14	10	19	
15	10	10	
16	10	17	
17	10	13	
18	10	22	
19	10	18	
20	10	39	
21	10	30	
22	10	24	
23	10	16	
24	10	19	
25	10	17	
26	10	15	
TOTAL	260	$\Sigma= 516$	

8.4 Gráficos de controle para o número de defeitos por unidade (u)

Diferente do gráfico para **C**, este gráfico fornece as variações do número de defeitos por unidade do produto. Uma **unidade** não necessariamente significa um único produto. Na abordagem utilizada aqui correspondente a um único produto.

Dependendo do processo a unidade do produto pode ser: 1 rádio, 1 m, 1 k, 1m², 1m³, etc.

A diferença entre os Gráficos-C e Gráficos-U é: Gráficos-C, número de defeitos por amostras; Gráfico-U, número (médio) de defeitos por um único produto.

Se **C = número** defeitos em uma amostra de tamanho **n**, então o número médio de defeitos por unidade de produto é dado por:

$$U = C/n$$

Procedimentos Gerais para a Construção do Gráfico para U

1. Coletar k amostras de mesmo tamanho n, do processo
2. Determinar o número (c) de defeitos de cada amostra
3. Calcular, para cada amostra, o número médio de defeitos por unidade de produto

$$U = C/n$$

4. Calcular os limites de controle

$$LSC = \bar{U} + 3 * \sqrt{\frac{\bar{U}}{n}}$$

$$LC = \bar{U}$$

$$LIC = \bar{U} - 3 * \sqrt{\frac{\bar{U}}{n}}$$

Onde:

$$\bar{U} = \frac{\sum_{i=1}^k u_i}{k}$$

5. Traçar os limites de controle
 6. Marcar os pontos no gráfico e construir um gráfico de linhas
 7. Interpretar o gráfico
-

Aplicação 13: Construir o gráfico c para os casos da tabela da Aplicação 12.

9. Análise dos gráficos de controle

O processo é dito “fora de controle” se:

♦ Existem pontos fora dos limites de controle

Pontos que estão fora dos limites de controle

♦ Existe Seqüência

Seqüência é a situação em que pontos consecutivos incidem em um dos lados da linha central, e o número de pontos é chamado de comprimento de seqüência.

Um comprimento de seqüência de sete pontos é considerado anormal.



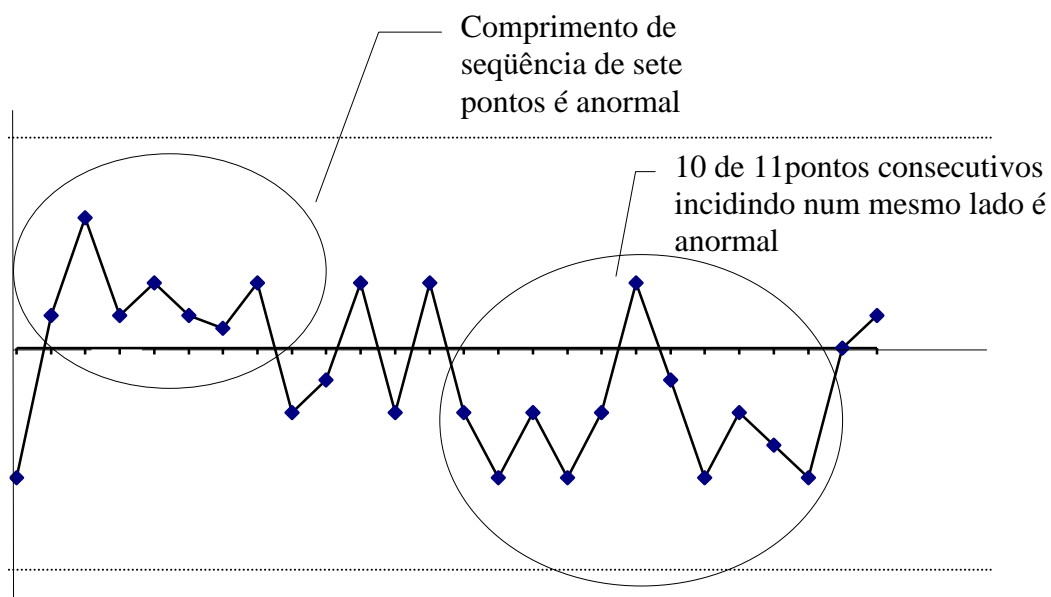
IMPORTANTE

Os seguintes casos são considerados anormais (mesmo que o comprimento da seqüência seja menor do que 6)

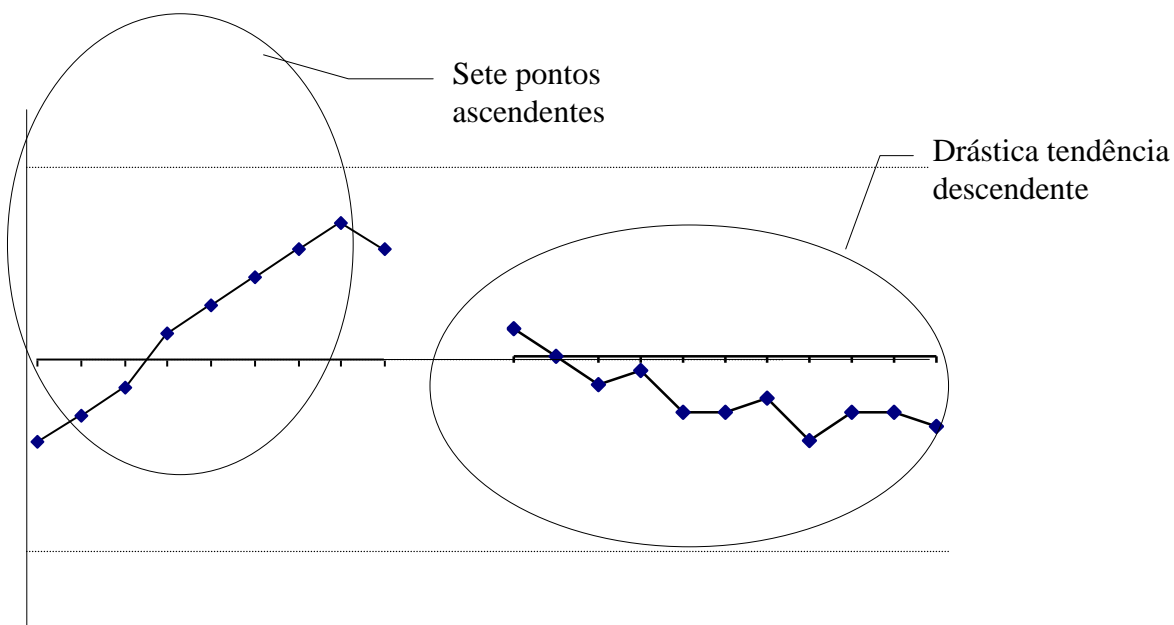
- ☒ Pelo menos 10 de 11 pontos consecutivos incidem num mesmo lado da linha central.
- ☒ Pelo menos 12 de 14 pontos consecutivos incidem num mesmo lado da linha central.
- ☒ Pelo menos 16 de 20 pontos consecutivos incidem num mesmo lado da linha central.

Causas Possíveis:

- Introdução de novas máquinas, operadores, matérias-primas.
- Mudanças de método de inspeção ou procedimentos operacionais.



◆ Existe tendência

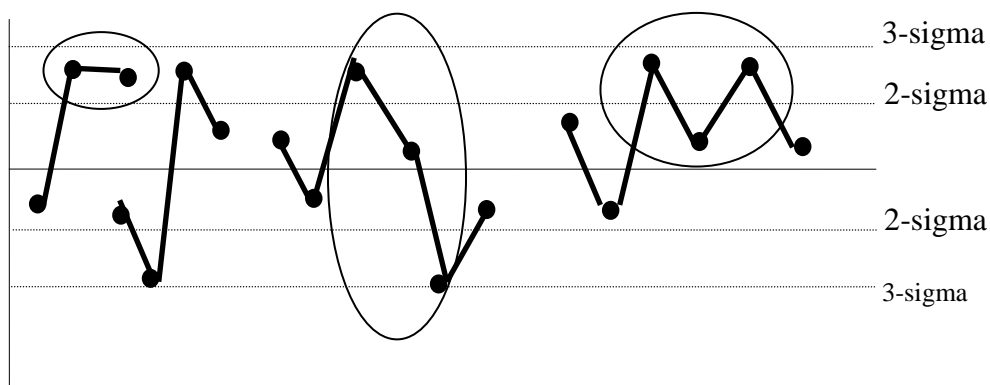


Causas Possíveis:

- Desgaste de gradual de equipamentos e ferramentas.
- Condições ambientes: alterações graduais de temperaturas, pressões, etc.
- Cansaço dos operadores.

♦ **Existe proximidade dos limites de controle**

Observando pontos que estão próximos dos limites de controle 3-sigma, se 2 em 3 pontos consecutivos incidem além das linhas 2-sigma, este caso é considerado anormal

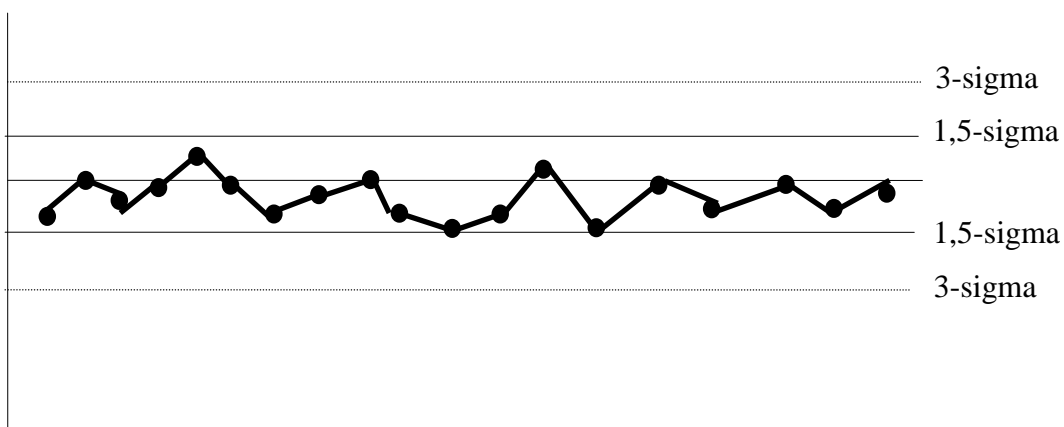


Causas Possíveis:

- Distribuições diferentes (máquinas, por exemplo).

♦ **Existe proximidade da linha central**

Quando a maioria dos pontos está posicionada entre as linhas 1,5-sigma (as duas faixas entre a linha central e cada uma das linhas 1,5-sigma), isto se deve a uma maneira inadequada na formação de subgrupos.

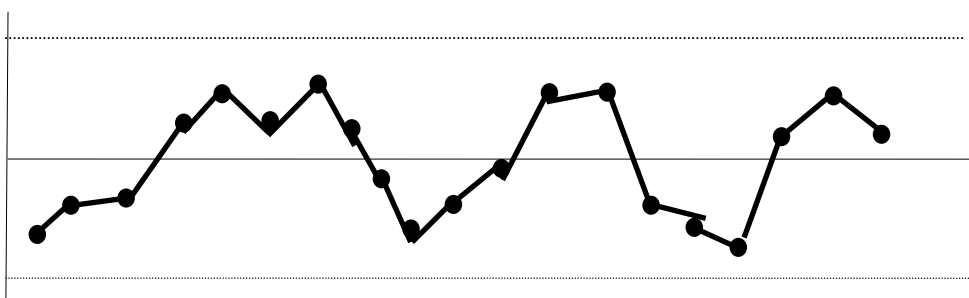


Causas Possíveis:

- Erros nos cálculos dos limites de controle.
- Má formação dos subgrupos, mistura de dados provenientes de populações (máquinas) diferentes em um mesmo subgrupo.

♦ **Existe periodicidade**

É também anormal, quando o traçado mostra repetidamente uma tendência para cima e para baixo em intervalos quase sempre iguais.



Causas Possíveis:

- Alterações sazonais da matéria-prima, cansaço do operador, alterações sistemáticas nas condições ambientais.
- Rotatividade regular de operadores ou máquinas.

9.1 Análise da capacidade do processo (Índice C_p e C_{pk})

Objetivo

Avaliar se o processo é capaz de atender às especificações estabelecidas a partir dos desejos e necessidades dos clientes.

Um processo pode não ser capaz por apresentar

- 1- Elevada variabilidade
- 2- Média deslocada em relação ao ponto médio dos limites de especificação

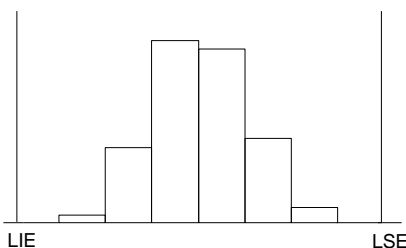
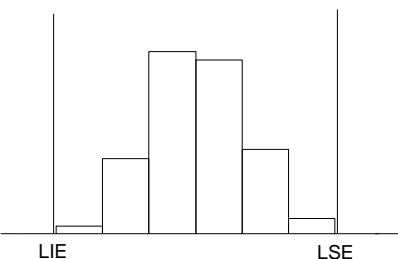
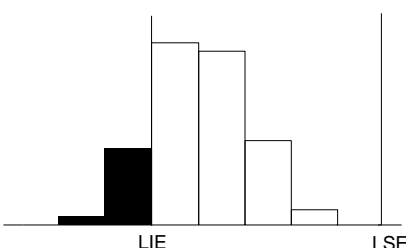
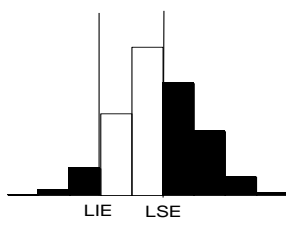
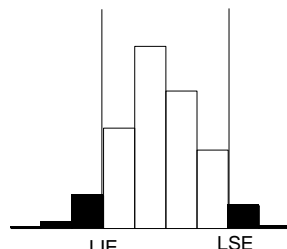


IMPORTANTE

A análise da Capacidade de Processos só deve ser realizada em processos sob controle estatístico.

ANÁLISE GRÁFICA

Pode se feita por meio a construção de um Histograma e compará-lo com os limites de especificação.

<p style="text-align: center;">CASO IDEAL</p> 	<p style="text-align: center;">NÃO APRESENTA FOLGA</p> 
<p style="text-align: center;">MÉDIA DESLOCADA</p> 	<p style="text-align: center;">MÉDIA DESLOCADA E GRANDE VARIABILIDADE</p> 
<p style="text-align: center;">ELEVADA VARIABILIDADE</p> 	<p style="text-align: center;">UM PROCESSO PODE NÃO SER CAPAZ POR APRESENTAR ELEVADA VARIABILIDADE E/OU MÉDIA DESLOCADA EM RELAÇÃO AO PONTO MÉDIO DOS LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO</p>

ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO

São Valores adimensionais que permitem uma quantificação do desempenho dos processos.



IMPORTANTE

Para se utilizar os índices de capacidade é necessário que:

- ☒ O processo esteja sob controle estatístico
- ☒ A variável de interesse seja aproximadamente normal (Histograma em forma de sino)
- ☒ Sejam estabelecidos os Limites Superior e Inferior de Especificação (LSE e LIE) do produto.

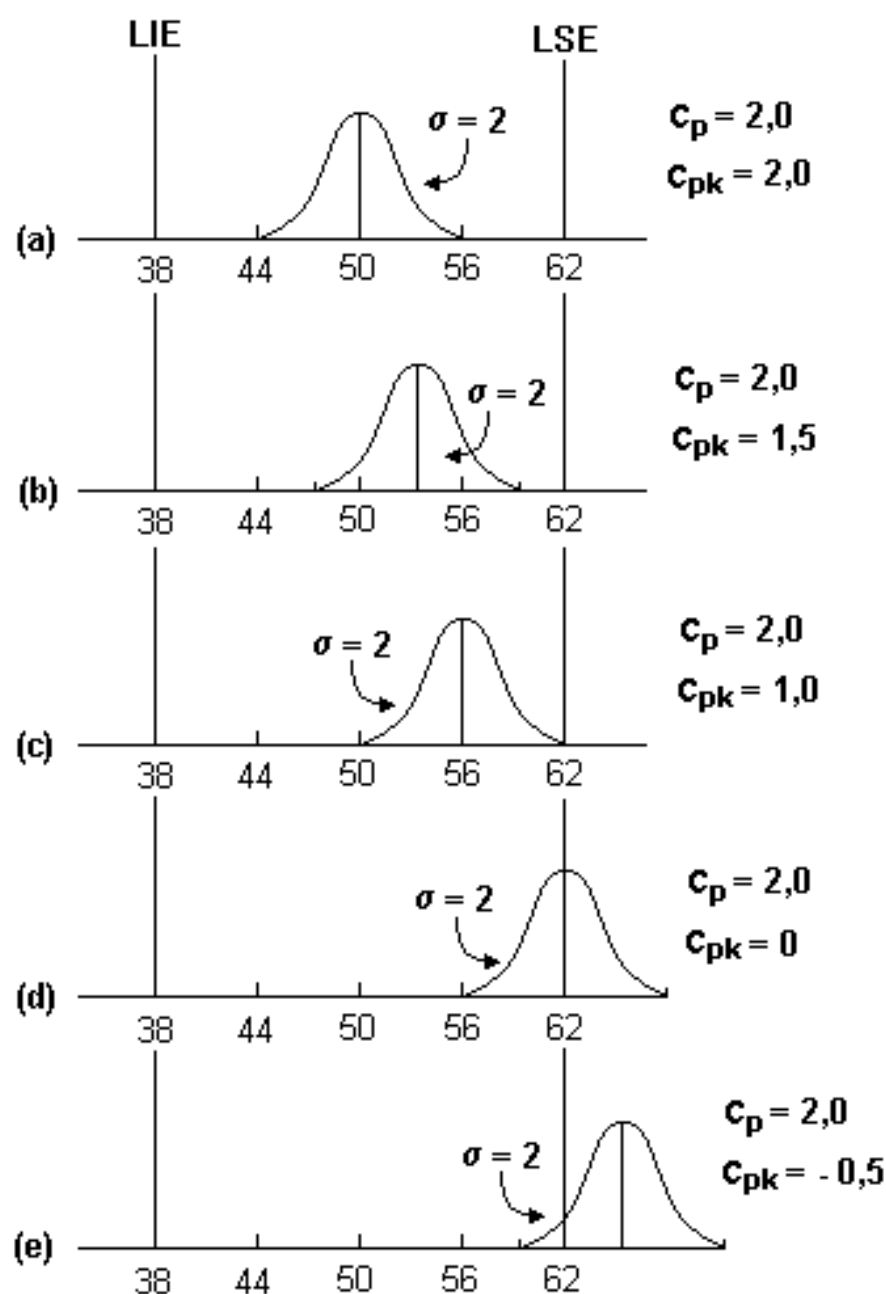
<p style="text-align: center;">ÍNDICE C_p</p> $C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$	<ul style="list-style-type: none"> RELACIONA A VARIABILIDADE PERMITIDA (LSE-LIE), COM A VARIABILIDADE NATURAL (6σ). A MÉDIA DO PROCESSO É SUPOSTA IGUAL A MÉDIA DOS LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO.
<p style="text-align: center;">ÍNDICE C_{pk}</p> $C_{pk} = \text{Mín} \left[\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right]$	<ul style="list-style-type: none"> O ÍNDICE C_{pk} PERMITE AVALIAR SE A MÉDIA DO PROCESSO É IGUAL A MÉDIA DOS LIMITES ESPECIFICAÇÃO. TAMBÉM MEDE A VARIAÇÃO DO PROCESSO COM RELAÇÃO A ESPECIFICAÇÃO.

PROCESSO CAPAZ $\Rightarrow C_p = C_{pk} \geq 1,33$

CLASSIFICAÇÃO DE PROCESSOS A PARTIR DO ÍNDICE C_P

CLASSIFICAÇÃO DO PROCESSO	VALOR C_P	COMPARAÇÃO DO HISTOGRAMA COM AS ESPECIFICAÇÕES	PROPORÇÃO DE DEFEITOS (P)
CAPAZ OU ADEQUADO	$C_P \geq 1.33$		$P \leq 64ppm$
ACEITÁVEL	$C_P \geq 1.0$ e $C_P \leq 1.33$		$P > 64ppm$ e $P \leq 0.27\%$
INCAPAZ OU INADEQUADO	$C_P < 1$		$P > 0.27\%$

RELACIONAMNETO ENTRE OS ÍNDICES C_p e C_{pk}



VALORES UTILIZADOS NA PRÁTICA

ESTIMATIVA PARA $\mu \cong \hat{\mu} = \bar{\bar{X}}$

ESTIMATIVA PARA $\sigma \cong \hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$ ou $\frac{\bar{S}}{c_4}$

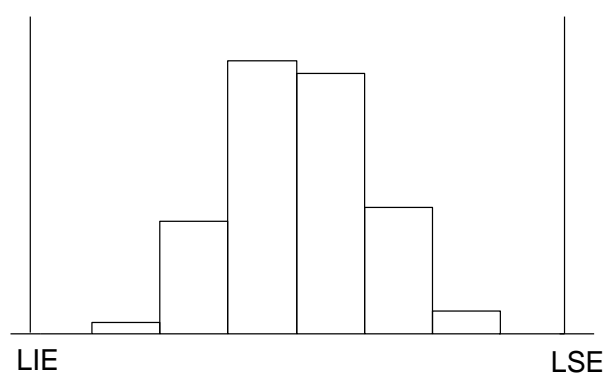
$$\text{e, portanto, } \hat{C}_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}} \quad \hat{C}_{pk} = \min \left[\frac{LSE - \hat{\mu}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\hat{\mu} - LIE}{3\hat{\sigma}} \right]$$

Com c_4 é função de n e tabelado.

NOMENCLATURA PRÁTICA

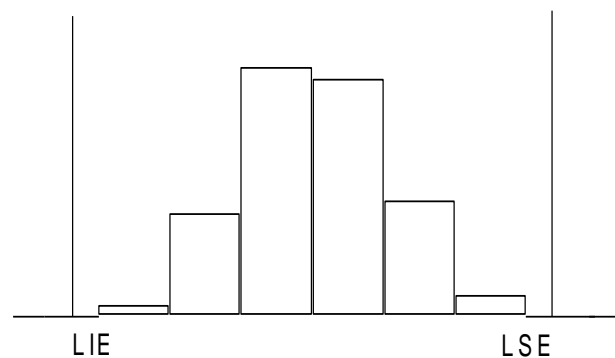
♦ PROCESSO VERDE

TODAS AS OBSERVAÇÕES ESTÃO LOCALIZADAS DENTRO DOS LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO COM UMA MARGEM DE SEGURANÇA (PELO MENOS UM σ) DE AMBOS OS LADOS.



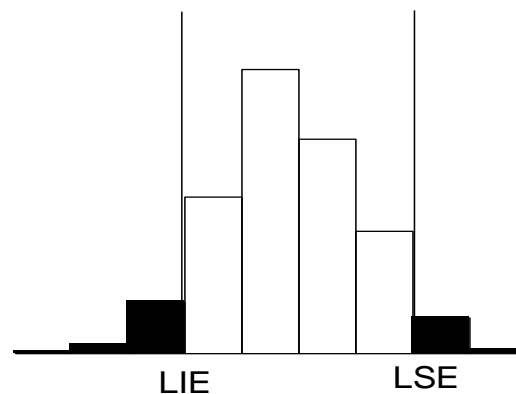
♦ PROCESSO AMARELO

TODAS AS OBSERVAÇÕES ESTÃO LOCALIZADAS DENTRO DOS LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO, PORÉM A FOLGA É PEQUENA (GERALMENTE MENOR QUE σ).

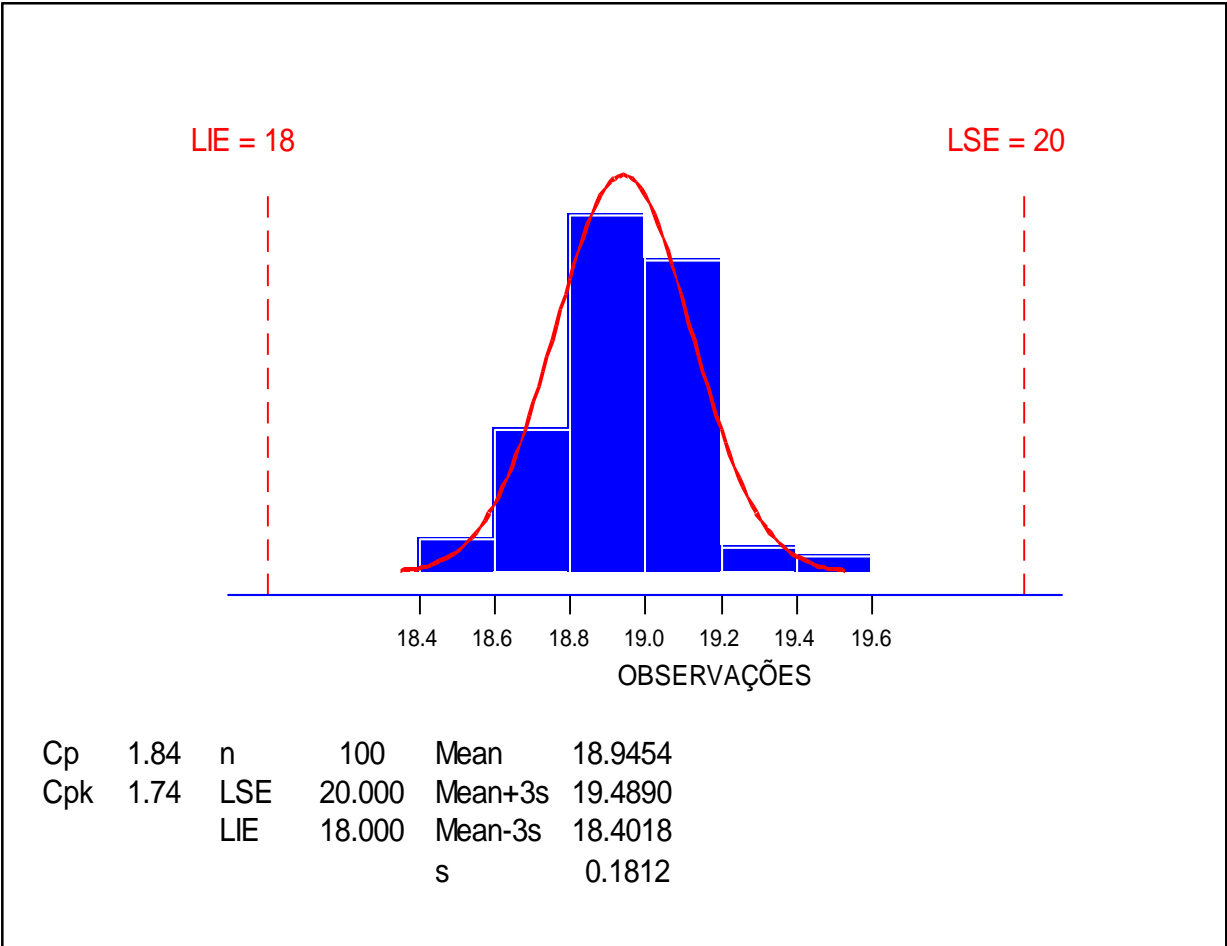


♦ PROCESSO VERMELHO

OBSERVAÇÕES ESTÃO LOCALIZADAS FORA DOS LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO.



MODELO DE APRESENTAÇÃO RECOMENDADO PARA RELATÓRIOS



10. Planos de inspeção por amostragem por atributos

Procedimento para aceitação de um lote de um produto por meio de um exame cuidadoso de um pequeno número de unidades (**amostra**) deste produto, recolhidas do lote (**da partida**).

O objetivo principal dos planos de inspeção não é estimar a qualidade dos lotes inspecionados e, sim, fornecer uma regra para sentenciá-los.

10.1 Conceitos importantes

- **Risco do Produtor (RP)**

Probabilidade de que um lote de boa qualidade ser rejeitado.

- **Risco do Consumidor (RC)**

Probabilidade de que um lote de má qualidade seja aceito.

- **Nível de Qualidade Aceitável (NQA)**

Porcentagem máxima de não-conformidades (ou número de não-conformidades em cada cem itens) que, para fins de aceitação por amostragem, possa ser considerada como satisfatória para a média do processo.

- **Nível de Qualidade Inaceitável (NQI)**

Porcentagem de defeituosos que o consumidor considera totalmente insatisfatória como média do processo.

- **Número de Aceitação (Ac)**

Número máximo de não-conformes (ou de não-conformidades) em amostras com o fim de se aceitar do lote.

- **Número de Rejeição (Re)**

Número mínimo de não-conformes (ou de não-conformidades) em amostras com o fim de rejeitar do lote.

10.2 Vantagens e desvantagens da amostragem

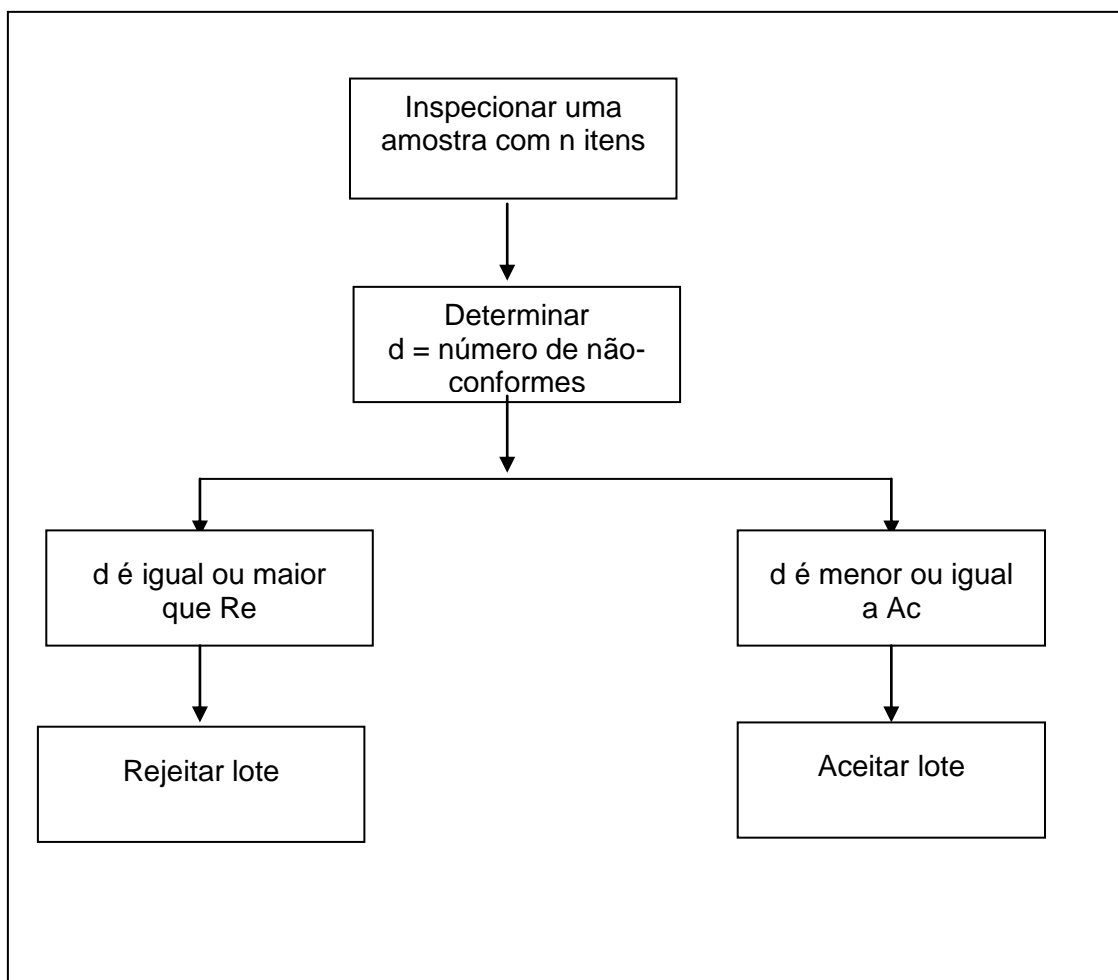
- **Vantagens**

- Menor custo que inspeção 100%
- Causa menor dano na inspeção
- Adequada para ensaios destrutivos
- Causa menos fadiga aos inspetores
- Menor pessoal envolvido
- Redução de erros de inspeção
- Fornece motivação ao fornecedor para melhoria da qualidade

- **Desvantagens**

- Riscos: aceitação de lotes ruins e rejeição de lotes bons
- Gera menos informação sobre o produto e o processo de manufatura
- Necessidade de planejamento e documentação

10.3 Planos de inspeção por amostragem simples





Importante (O USO DE TABELAS)

Na prática utilizamos tabelas para determinarmos um plano de inspeção por amostragem tanto para **atributos** como para **variáveis**.

Estes planos estão nas **Normas da ABNT: NBR 5 4 2 6 – NBR 5 4 3 0**

PROCEDIMENTO PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO:

1. Escolher NQA

- Definido em contrato entre fornecedor e cliente.
- Definido a partir de um processo estável.
- Pode ser definido para diferentes tipos de defeitos (crítico, grave ou tolerável).

2. Escolher o nível de inspeção

- Gerais: Nível Geral I, menor discriminação; Nível Geral II, será adotado salvo indicação em contrário; e Nível Geral III, maior discriminação. Quantidade de inspeções requeridas: Nível I = 0,4 Nível II; Nível III = 1,6 Nível II.
- Níveis Especiais: S1, S2, S3 e S4. Adequados para amostras destrutíveis, ou quando podem ser tolerados grandes riscos de amostragens.

3. Determinar o tamanho do lote (partida)

- Os lotes devem ser homogêneos.

4. Encontrar o código de letra apropriado para determinar o tamanho da amostra (função do tamanho do lote e do nível de inspeção).

5. Determinar o tipo apropriado de amostragem.

- Simples, única amostra; Dupla, duas amostras; Múltipla, mais de duas amostras.

- O tamanho médio dos planos múltiplos é menor do que o utilizado para os planos duplos (exceto para o caso correspondente para o plano simples com $A_c = 1$), e ambos são menores que o plano simples.
- Maior facilidade administrativa e menor custo de amostragem levam à escolha do plano simples.

6. Determinar o regime de inspeção desejada

- Normal. Utilizada para a determinação do plano inicial.
- Reduzida ou Atenuada. Requer menos inspeção.
- Severa. Aplicada quando há queda na qualidade do fornecedor.



Importante. Na norma NBR 5426/Janeiro/1985 tem os critérios de comutação dos regimes de inspeção.

7. Definir o plano de inspeção obtido

Aplicação 14:

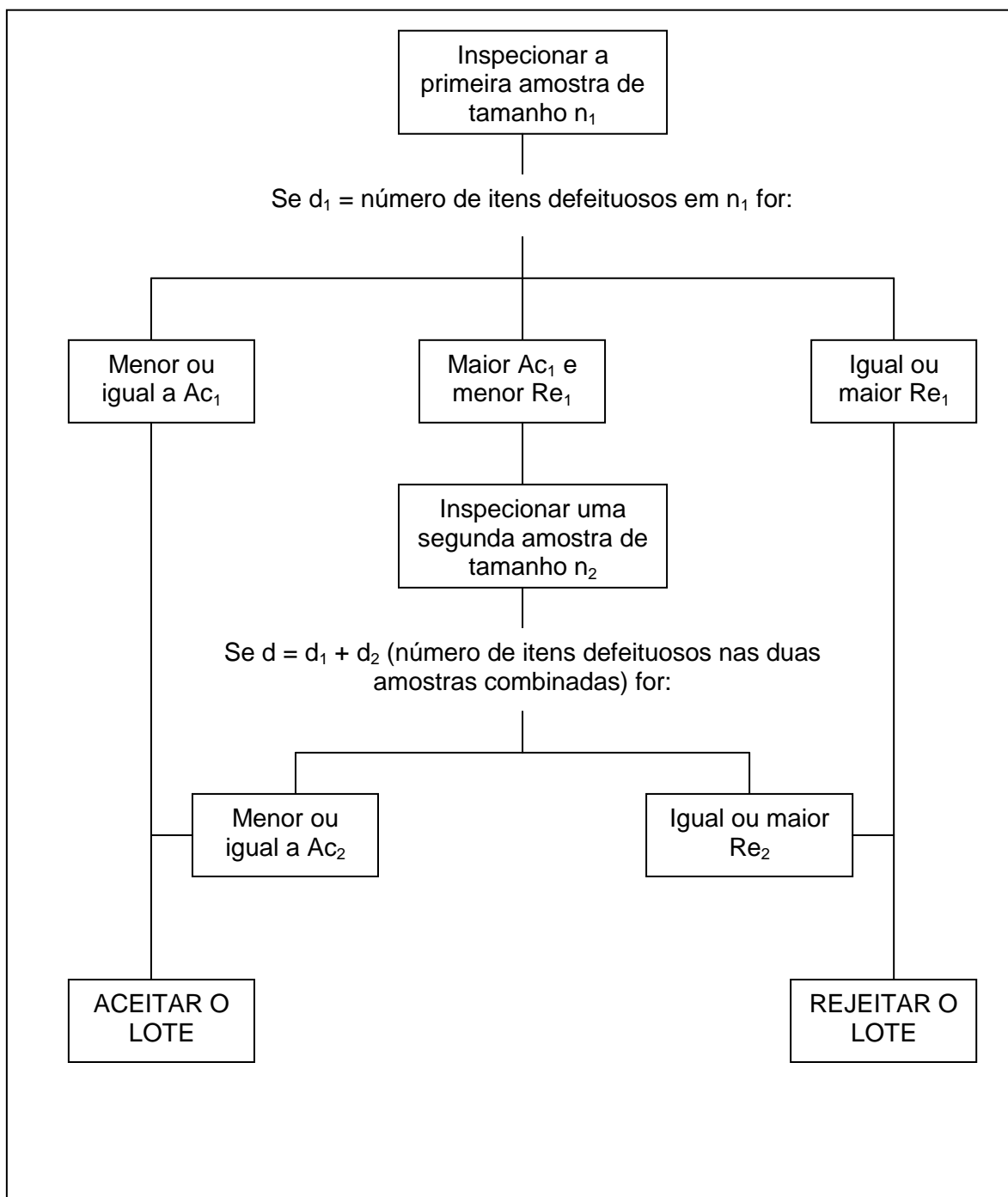
Determine os planos de aceitação por amostragem simples por atributos, para NQA = 0,40%, Nível Geral de Inspeção = Normal (II) e N = 60.000.

Regime de inspeção	n	Ac	Re
Normal			
Severa			
Atenuada			

10.4 Planos de inspeção por amostragem dupla

Na definição deste plano são necessárias duas etapas no processo de inspeção.

Uma síntese do procedimento é apresentada no fluxograma abaixo:



Onde:

n_1 = tamanho da primeira amostra

n_2 = tamanho da segunda amostra

Ac_1 = número de aceitação na primeira amostra

Ac_2 = número de aceitação na segunda amostra combinada

Re_1 = número de rejeição na primeira amostra

Re_2 = número de rejeição da segunda amostra combinada

Aplicação 15:

Para os dados da aplicação 14 determinar os planos de inspeção abaixo:

Regime de inspeção	Primeira amostra			Amostra combinada		
	n_1	Ac_1	Re_1	n_2	Ac_2	Re_2
Normal						
Severa						
Atenuada						

11. Bibliografia Recomendada

1. ANTONIO FERNANDO BRANCO COSTA ; EUGÊNIO KAHN EPPRECHT ; LUIZ CESAR RIBEIRO CARPINETTI. **CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE**. EDITORA ATLAS, SÃO PAULO, 2004.
2. MONTGOMERY, Douglas C.- **INTODUÇÃO AO CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE**. LTC EDITORA. RIO DE JANEIRO, 2004.
3. MARIA CRISTINA CATARINO WERKEMA. **FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS BÁSICAS PARA O GERENCIAMENTO DE PROCESSOS**. Editora Werkema, 2006.
4. MARIA CRISTINA CATARINO WERKEMA. **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE MEDIDAS**. VOLUME 13, TQC-GESTÃO DA QUALIDADE TOTAL: SÉRIE FERRAMENTAS DA QUALIDADE, FUNDAÇÃO CHRISTIANO OTTONI, BELO HORIZONTE-MG, 1996.
5. RAMOS, ALBERTO WANDERLER. **CEP PARA PROCESSOS CONTÍNUOS E EM BATELADAS**. Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 2000.
6. GARVIN, DAVID A. **GERENCIANDO A QUALIDADE: a visão estratégica e competitiva**. Rio de Janeiro, Qualitymark, 1992.
7. D.C. MONTGOMERY. **INTRODUCTION STATISTICAL QUALITY CONTROL**. JOHN WILEY & SONS, INC., 2000.
8. HITOSHI KUME. **MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA A MELHORIA DA QUALIDADE**. EDITORA GENTE, 1993.
9. NBR 5426-JAN/1985 - **PLANOS DE AMOSTRAGEM E PROCEDIMENTOS NA INSPEÇÃO POR ATRIBUTOS**.
10. OSMÁRIO DELLARETTI FILHO ; FÁTIMA BRANT DRUMOND. **ITENS DE CONTROLE E AVALIAÇÃO DE PROCESSOS**. EDITORA LÍTERA MACIEL, 1994.
11. RUY DE C. B. LOURENÇO FILHO. **CONTROLE ESTATÍSTICO DE QUALIDADE**. LIVROS TÉCNICOS E CIENTÍFICOS EDITORA S.A., 1976.
12. SHEWHART, W. A. **ECONOMIC CONTROL OF QUALITY OF MANUFACTURED PRODUCT**. New York, D. Van Nostrand Company, 1931.
13. CROSBY, P. B. **QUALIDADE É INVESTIMENTO**. Rio de Janeiro, José Olympio, 1992.