



CONTROLE DE QUALIDADE

1. INTRODUÇÃO AO CONTROLE DA QUALIDADE

1.1 - CONCEITOS BÁSICOS

1.1.1- Evolução – Graças ao crescimento incessante do parque industrial, à concorrência – cada vez maior de outras empresas similares, à procura e a melhor condição do poder aquisitivo, surgiu entre os dirigentes das indústrias, a preocupação em desenvolver novos métodos, em dividir e racionalizar o trabalho a fim de obter maior produtividade, sem contudo afetar a qualidade do produto. O aumento da produção, pensamento geral, iria causar problemas muito sérios à qualidade. Era preciso desenvolver algum processo que substituísse a inspeção tradicional, até então utilizada satisfatoriamente. A partir de 1920, procurando resolver o problema iniciou-se a revolução industrial no sentido de aprimorar os métodos de inspeção utilizados. A mudança sobre controle de qualidade, devia ser radical. Desenvolveram-se técnicas de prevenção de defeitos e a estatística, que passaram a funcionar como as principais armas na detecção e prevenção de defeitos.

O controle estatístico de qualidade é tido como o melhor meio até agora encontrado para um trabalho racional de prevenção de defeitos.

1.1.2- O que é Qualidade? – A definição mais moderna de Qualidade é apresentada pela “Organização Européia para Controle de Qualidade”.

“Qualidade de um material é a condição necessária de aptidão para a finalidade a que se destina”.

Exigir de um produto, qualidade além da necessária, é encarecê-lo; exigir menos, é prejudicar o nome do fabricante diante do público consumidor.

1.1.3- Inspeção e Controle Estatístico de Qualidade – é de fundamental importância à diferenciação de conceitos entre Inspeção e Controle Estatístico de Qualidade:

Inspeção de Qualidade – é uma operação de verificação realizada após o produto ter sido totalmente processado, e na qual classificado em duas categorias: Aceito e Rejeitado. É feita com o objetivo de verificar se a qualidade das partidas apresentadas atende às especificações de fornecimento ou de recebimento, utilizando-se tábuas de amostragem.

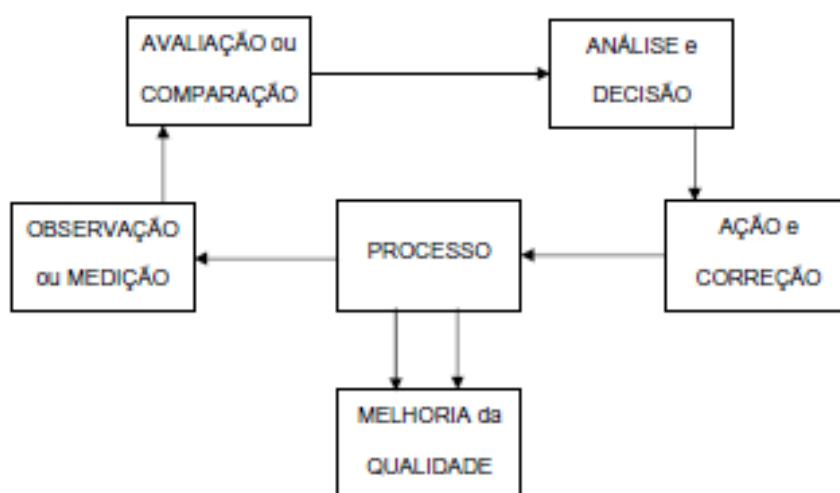
As principais características da inspeção são:

- a) Cada unidade do produto deve ter suas características comparadas com padrões e especificações.
- b) Deverá ser tomada uma decisão definitiva em aceitar ou rejeitar o produto, se este não estiver de acordo com as especificações.
- c) A inspeção não adiciona nada ao valor do produto nem diminui o número de rejeições, uma vez que não envolve nenhuma ação corretiva sobre as operações.
- d) A inspeção 100% garante ao cliente e ao fornecedor a boa qualidade do produto.
- e) A boa reputação do fornecedor sem um adequado sistema de Controle de Qualidade é conseguida a custo de elevados índices de rejeições e conseqüente alto custo de fabricação.

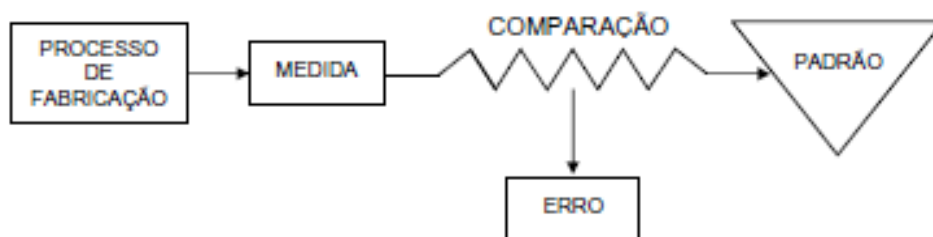
Controle Estatístico de Qualidade – é um sistema amplo e complexo que tem por finalidade a inspeção, a análise e a ação corretiva aplicados a um processo produtivo. A inspeção de uma pequena porção dos produtos leva a uma análise de sua qualidade, o que determinará a ação a ser adotada de modo a manter o nível de qualidade.

É exercido pelo produtor durante o processo produtivo. O processo estará sob controle quando a variação da qualidade estiver dentro dos limites de especificação do produto. Os instrumentos principais utilizados para o controle estatístico de qualidade são os gráficos de controle.

O diagrama abaixo esquematiza um sistema de aplicação do Controle de Qualidade:



A atividade de análise é fundamental no ciclo de controle, pois estabelece o relacionamento entre o produto sob controle e os parâmetros de inspeção, conforme demonstrado na figura seguinte:



As principais características do Controle Estatístico de Qualidade são:

- a) Divulgação rápida por utilizar apenas amostras dos resultados, permitindo uma correção imediata.
- b) Os produtos produzidos em uma operação onde se aplicou a técnica correta de C.Q., podem ser aceitos sem inspeção adicional.
- c) Melhoria da qualidade na própria linha de produção diminuindo as rejeições.
- d) Redução dos custos de fabricação, pois a qualidade é melhorada na própria operação de manufatura.

e) Aumento da moral dos supervisores de produção, pois a qualidade será produzida na linha, eliminando-se as discussões após uma inspeção final, que não levam a nenhum resultado.

1.2 - TAREFAS DO CONTROLE DE QUALIDADE

Devido a seu necessário relacionamento com todas as fases do processo criativo de um produto, o Controle de Qualidade em influência em todas, sendo fator determinante na qualidade final.

Um bom produto, com elevado conceito de qualidade tem seu controle exercido necessariamente:

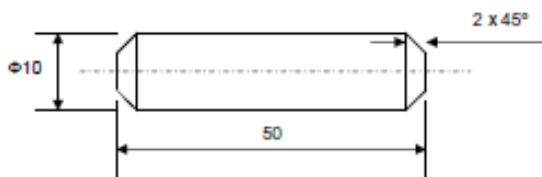
- a) No estudo do projeto do produto e das suas especificações;
- b) Na análise da matéria-prima e do material auxiliar a ser utilizado na produção;
- c) No controle durante a execução do produto;
- d) Na inspeção do produto acabado;
- e) Na análise das falhas de campo.

1.2.1- Relacionamento entre Empresas – Quando o processamento de um produto envolve várias indústrias, ocorre uma repetição de fases de controle do próprio sistema, conforme ilustrado abaixo:



Exemplo:

Ilustrar as fases de controle necessárias para a produção da seguinte peça:



Dois fabricantes estão envolvidos:

Fabricante 1 – Usina de Produção de Matéria-Prima (Aço SAE 1040)

Fabricante 2 – Produz a peça por processo de usinagem

Fabricante 1 (Usina Siderúrgica)

FASE	EXIGÊNCIAS A VERIFICAR	TIPO DE CONTROLE
Recebimento do Minério	Composição Química Granulometria	Inspeção de Recebimento (Tábua de Amostragem)
Fundição, Forjamento e Laminação	Composição Química Bitola da Barra Dureza Superficial	Controle de Fabricação (Gráficos de Controle)
Acabamento	Comprimento da Barra Trincas Superficiais Empenamento	Inspeção Final (Tábua de Amostragem)

Fabricante 2 (Usinagem)

FASE	EXIGÊNCIAS A VERIFICAR	TIPO DE CONTROLE
Recebimento da Barra	Bitola da Barra Trincas Superficiais Composição Química Empenamento	Inspeção de Recebimento (Tábua de Amostragem)
Tornear Chanfros e Cortar	Comprimento do Pino Dimensão do Chanfro	Controle de Fabricação (Gráficos de Controle)
Acabamento	Dimensões Rebarbas Oxidação Aparência Visual	Inspeção Final (Tábua de Amostragem)

1.3 - ESPECIFICAÇÃO DE QUALIDADE

Como a idéia de qualidade implica na comparação do produto com parâmetros previamente estabelecidos ou expectativa de características, as especificações são fundamentais na análise da qualidade. Alguns aspectos devem ser ponderados nas especificações de um produto:

a) Especificações Verbais – Causam confusões e erros de interpretação.

b) Especificação Através da Amostra do Produto – Dependem da complexidade do produto.

c) Especificações Numéricas

Dimensões exatas – São impraticáveis, pois para uma peça é possível mantê-las, mas para um bom lote nunca ocorre repetitivamente.

Dimensões com tolerâncias – Permitem trabalhar com folgas permissíveis.

d) Características de Qualidade – São parâmetros componentes de uma especificação.

Podem ser:

- ☐ Propriedades físicas (Ex.: resist. a tração)
 - ☐ Propriedades químicas (Ex.: comp. material)
 - ☐ Dimensões
 - ☐ Temperatura
 - ☐ Pressão
 - ☐ Rugosidade superficial
- Etc.

e) Conteúdo das Especificações – São incluídas no texto das especificações somente as características de qualidade. Estas podem ser:

- ☐ Especificação de materiais
- ☐ Especificação de fabricação
- ☐ Especificação de produtos finais.

e.1- Especificação de Materiais: São elementos essenciais na especialização e devem conter no mínimo as seguintes informações:

e.1.1- Tipo de unidade de medida do material: Servem para caracterizar o objeto em análise.

e.1.2- Identificação dos Lotes: A falta de identificação pode acarretar rejeições ou aprovações de vários lotes por mera confusão.

e.1.3- Característicos de Qualidade do Material: Englobam todos os parâmetros que avaliam a operabilidade do produto.

e.1.4- Métodos de Ensaio do Lote: Indicam de que forma e com quais equipamentos vamos inspecionar o lote.

e.1.5- Embalagem, Manuseio, Armazenagem: Devemos indicar como as peças serão fornecidas ou recebidas.

e.2- Especificação de Fabricação: A especificação de fabricação e seu acompanhamento pelo controle de qualidade reduzirão substancialmente o custo de fabricação diminuindo o número de rejeições e as necessidades de inspeção final. Os elementos essenciais das especificações de fabricação são:

e.2.1- Lista de Materiais: Inclui todos os materiais utilizados no processo de fabricação.

e.2.2- Equipamento: Descrição do equipamento: máquinas, ferramentas, etc., usados no processo produtivo.

e.2.3- Folhas de Operações: Resumem as informações necessárias para execução da operação, tais como:

- ☐ Denominação da operação
- ☐ Tempo de execução
- ☐ Ajustamento da máquina
- ☐ Croquis da operação de produtos finais

e.2.4- Ensaios de Controle de Fabricação: Indicam as características a serem analisadas.

- ☐ Medições necessárias
- ☐ Calibres
- ☐ Tolerâncias

e.3- Especificação de Produtos Finais: São especificações que fazem com que o produto final atenda às exigências do consumidor. São os objetivos a serem atingidos pelas especificações de fabricação.

1.4- TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO DE QUALIDADE

Atributos e Variáveis – Em virtude de ser impraticável e desnecessário avaliar todos os característicos de qualidade de um produto, as especificações se restringem apenas aos mais importantes e significativos. As características para avaliação são classificáveis em dois grandes grupos:

1.4.1- Controle por Atributos – É a avaliação de características de qualidade de **valores não mensuráveis**. É a forma mais comum e mais econômica para avaliarmos os característicos de qualidade. O julgamento sobre a qualidade de um produto por seus atributos independe do conhecimento de suas dimensões mas apenas dos conceitos “bom” e “ruim”.

Assim, a seleção de um lote de eixos usando um calibrador do tipo “passa não passa” ou de um lote de lâmpadas sob o critério “acende” ou “não acende” caracteriza o uso de atributos.

1.4.2- Controle de Variáveis – É a avaliação de característicos de qualidade através de **valores mensuráveis**, as quais podem corresponder a leituras em escalas. A técnica de variáveis admite que podemos dividir a escala indefinidamente.

1.5- TOLERÂNCIA

Definimos tolerância como a faixa de variação aceitável por um determinado característico de qualidade.

É impraticável em um processo de produção obtermos uma dimensão exata para um característico de qualidade, devido à variação constante das condições de trabalho.

Esse caso gera a necessidade de estipular um intervalo de variação no qual a característica de qualidade é aceitável, ou seja, atende os objetivos do projeto.

1.5.1- Tipos de Tolerância

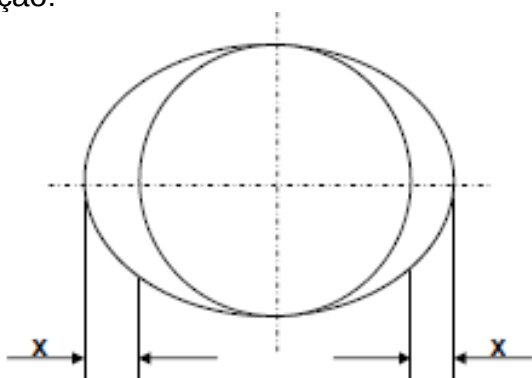
a) Tolerância Dimensional – Determina um intervalo em que a dimensão básica pode variar.

Ex.: $\varnothing 25 \text{ mm} + 0,5$

“o diâmetro de 25 mm pode variar no intervalo 25 a 25,5mm”.

b) Tolerâncias de Forma- Indicam o máximo desvio em relação à forma básica.

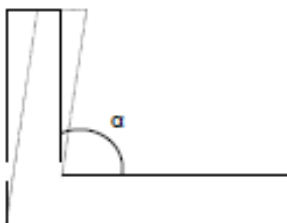
Ovalização:



Excentricidade:



Desvio (Perpendicularidade):



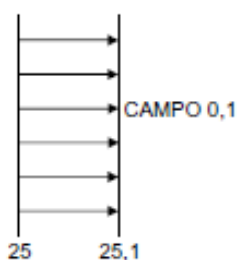
c) Tolerância de Partida – É o número máximo permissível de peças defeituosas em um determinado lote.

Ex.: Uma partida de 1000 pregos pode apresentar no máximo 20 defeituosos (sem cabeça), portanto a tolerância de partida é 2%.

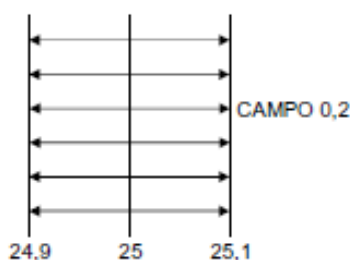
1.5.2-Sistemas para Indicação de Tolerâncias – Dois sistemas podem ser utilizados para indicação de tolerâncias:

□ Sistema Unilateral: No qual a variação é permitida apenas em um sentido da dimensão básica.

Ex.: $\varnothing 25^{+0,1}$



- Sistema Bilateral: A variação é permitida em ambos os sentidos da dimensão básica.



1.6- DEFEITOS E FALHAS

Defeito ou falha é a falta de conformidade da unidade do produto com as especificações de um característico de qualidade.

1.6.1- Classificação de Defeitos – Os defeitos podem ser classificados em:

a) Defeitos Graves ou Críticos: Impedem a utilização e prejudicam o funcionamento do produto.

b) Defeitos Maiores: Reduzem a eficiência ou a vida da peça.

c) Defeitos Menores: Não afetam a vida ou a eficiência sendo simples imperfeições de acabamento.

O número de categorias de defeitos pode ser ampliado ou reduzido em função da complexibilidade do produto.

A classe dos defeitos poderá ser indicada por meio de um código alfabético, para facilidade de computação, conforme segue:

A = Graves

B = Maiores

C = Menores ou irregularidades

A estas classificações são atribuídos pesos em função de sua gravidade e dos impedimentos gerados na utilização do produto.

Exemplo:

Falhas em Componentes Elétricos

Falha nº	Classe	Descrição
1	A	Terminais Quebrados
2	B	Terminais Frouxos
3	C	Terminais Oxidados
4	C	Terminais Cobertos de Solda

Após a organização da lista, atribuir pesos para as várias classes

Classes	Peso	Nº de Defeitos	Deméritos
A	5	2	10
B	3	2	6
C	1	3	3
			19 (Total)

A determinação dos deméritos em uma amostra de 100 peças poderia conduzir a um total de 19 deméritos, considerando todos os defeitos da amostra.

O critério de aceitação ou rejeição, diante do total de deméritos encontrados na amostra, deverá estar indicado na especificação.

Se no caso o número máximo de deméritos na amostra for 20, a partida será aceita.

O cálculo por deméritos é largamente empregado na inspeção de recebimento.

2. NOÇÕES BÁSICAS DE ESTATÍSTICA

2.1- CONCEITOS FUNDAMENTAIS

População ou Universo: É o conjunto de todos os elementos (peças) existentes ou possíveis de existir no processo de fabricação.

Lote ou Partida: É o conjunto de todos os elementos (peças) extraídos de um processo de fabricação, num intervalo de tempo.

O Lote: Pode ser a produção horária, produção diária ou ainda a produção programada.

Tamanho do Lote: É a quantidade de elementos (peças) existentes no lote.

Amostra: É o conjunto de todos os elementos (peças) extraídos parcialmente do processo de fabricação ou de um lote.

Amostra ao Acaso (Casual): É o conjunto de todos os elementos tirados ao acaso de uma produção.

Tamanho da Amostra: É a quantidade de elementos (peças) existentes na amostra.

2.2- DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS

A análise estatística de dados relativos a uma amostra de um lote, requer uma aglutinação organizada de informações, conforme regras cuja prática demonstrou serem eficientes. Consideremos uma relação de medidas dos diâmetros externos, em milímetros, de uma amostra de rolamentos de esferas, produzidos por uma empresa:

AMOSTRA	Ø	AMOSTRA	Ø	AMOSTRA	Ø	AMOSTRA	Ø
01	50.071	16	50.069	31	50.056	46	50.055
02	50.041	17	50.070	32	50.037	47	50.052
03	50.052	18	50.048	33	50.067	48	50.063
04	50.045	19	50.058	34	50.058	49	50.055
05	50.074	20	50.060	35	50.049	50	50.062
06	50.064	21	50.061	36	50.050	51	50.046
07	50.065	22	50.032	37	50.047	52	50.047
08	50.041	23	50.062	38	50.057	53	50.038
09	50.054	24	50.053	39	50.050	54	50.068
10	50.052	25	50.043	40	50.051	55	50.059
11	50.066	26	50.044	41	50.051	56	50.060
12	50.036	27	50.042	42	50.042	57	50.056
13	50.057	28	50.053	43	50.072	58	50.049
14	50.048	29	50.064	44	50.063	59	50.059
15	50.039	30	50.053	45	50.054	60	50.067

O agrupamento desses dados em **sub-grupos** é feito com base nos seguintes conceitos:

Amplitude Total (R.T.): É a diferença entre a medida máxima e a medida mínima.

No caso da amostra de rolamentos acima, temos:

$$R.T. = 50.074 - 50.032 = 0.042$$

Número de Classes (d): É o número de divisões que estipulamos para a amplitude total.

Classe: É o intervalo de variação de medidas.

Amplitude do intervalo de classes (R.I.): É a diferença entre os valores máximos e mínimos de cada classe.

$$\text{Amplitude intervalo classe} = \frac{R.T.}{N^{\circ} \text{ classes}}$$

2.2.1- Tabela de Frequências: Para a facilidade e metodização do processo de análise estatística, monta-se uma tabela que agrupe as informações obtidas, de norma da Tabela de Frequências. Para os rolamentos em pauta, teremos a seguinte tabela de frequências:

Valor Classe	Comprimento (Classes)	Tabulação	Frequência		Freq. Acumul.	Frequência Acum. Relat. (%)
			Freq. (F)	Relativa (%)		
1	> 50.030-50.035	/	1	1.666	1	1.666
2	> 50.035-50.040	////	4	6.666	5	8.333
3	> 50.040-50.045	////////	7	11.666	12	20,00
4	> 50.045-50.050	//////////	9	15.000	21	35,00
5	> 50.050-50.055	///////////	12	20.000	33	55,00
6	> 50.055-50.060	//////////	10	16.666	43	71.666
7	> 50.060-50.065	////////	8	13.333	51	85.000
8	> 50.065-50.070	/////	6	10.000	57	95.000
9	> 50.070-50.075	///	3	5.000	60	100.000
	Σ		60	100%		

$$Fr = \frac{fd}{n} \times 100$$

Frequência Acumulada (fa): É a soma das frequências até o intervalo de classe considerado:

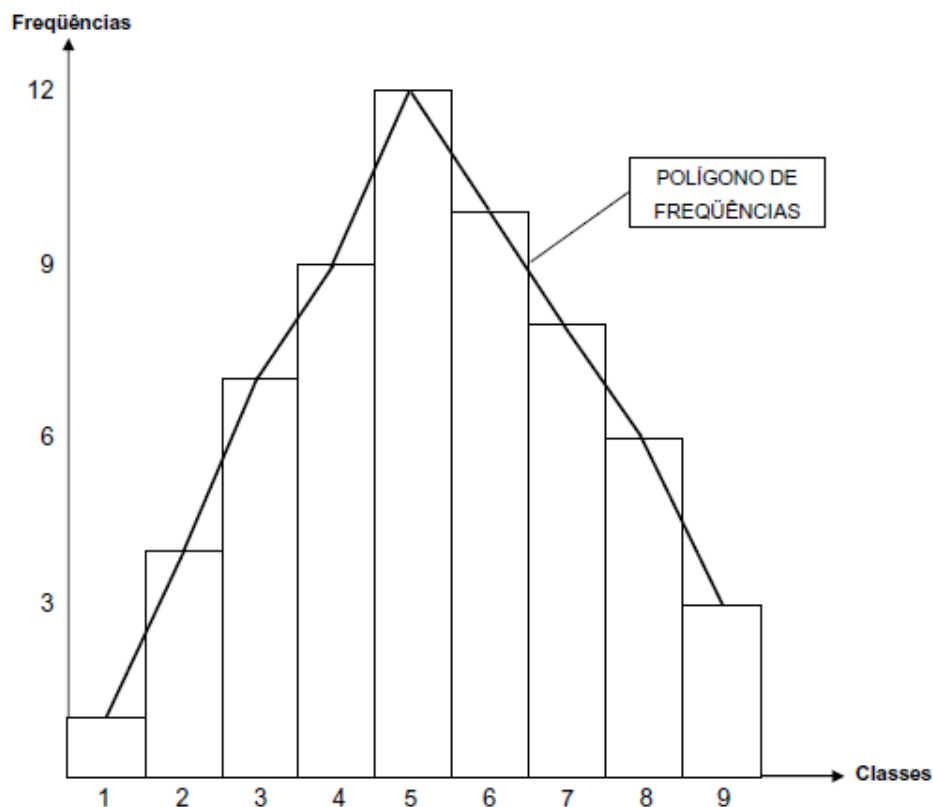
$$\text{Ex.: } Fa_5 = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 = 1 + 4 + 7 + 9 + 12 = 33$$

Frequência Acumulada Relativa (Far): É a soma das frequências relativas até o intervalo considerado

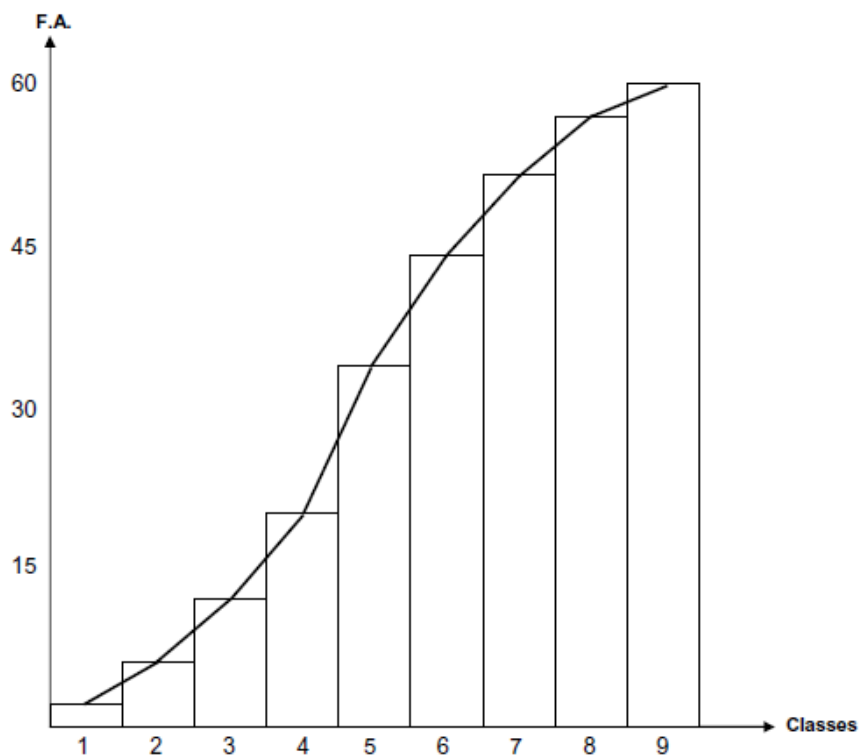
$$FaR_3 = FR_1 + FR_2 + FR_3$$

2.2.2- Distribuição Gráfica das Frequências: É a representação gráfica das frequências.

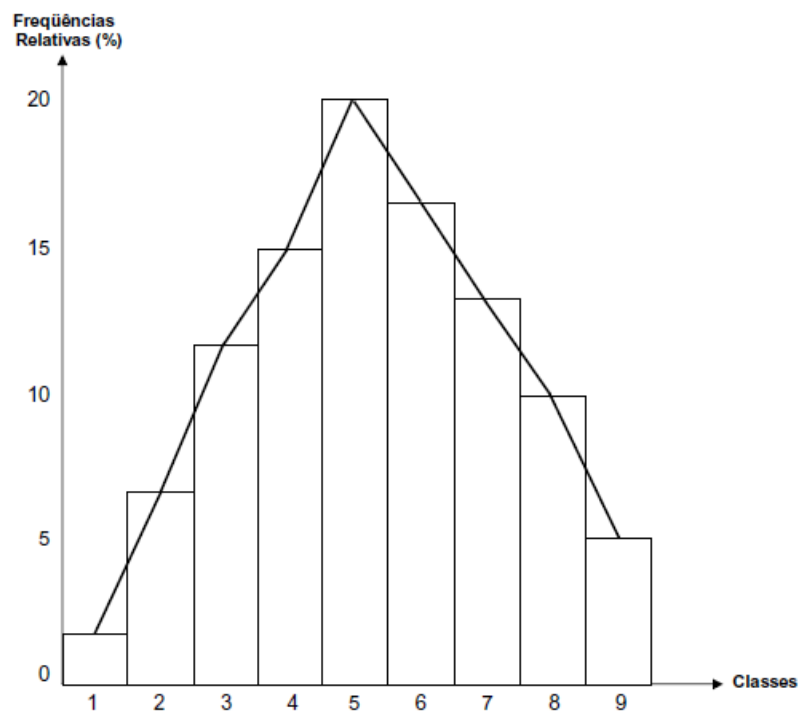
a) Histograma e Polígono de Frequências



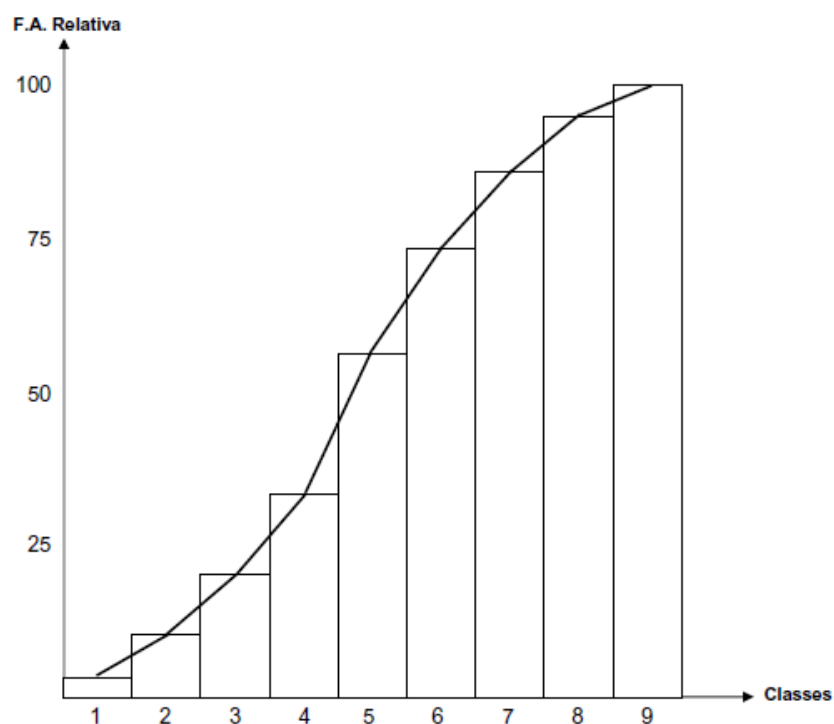
b) Polígono de Frequência Acumulada ou Ogiva



c) Histograma e Polígono de Frequências Relativas



d) Polígono de Frequência Acumulada Relativa



2.3 - MEDIDAS DE TENDÊNCIA CENTRAL

Média Aritmética Simples ($\bar{X}$) – A média aritmética simples de N números consecutivos é igual à somatória destes números, dividido pela quantidade de números.

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

Exemplo: Calcular a média de 8, 3, 5, 12, 10

$$\bar{X} = \frac{8 + 3 + 5 + 12 + 10}{5} = \frac{38}{5} = 7,6$$

Média Aritmética Ponderada – A média aritmética ponderada de números que se repetem com frequência f é a somatória dos produtos dos números pelas suas frequências dividindo pela somatória dos valores das frequências.

$$\bar{X}_p = \frac{\sum (f \cdot x)}{\sum f}$$

f – frequência
x – número

Exemplo: Calcular a média dos números 5, 8, 6, 2, os quais ocorrem com as frequências 3, 2, 4 e 1 respectivamente

$$\bar{X} = \frac{\sum (f \cdot x)}{\sum f}$$

f – frequência
x – número

$$\bar{X} = \frac{(3 \times 5) + (2 \times 8) + (4 \times 6) + (1 \times 2)}{3 + 2 + 4 + 1} = \frac{57}{10} = 5,7$$

Mediana (x) – Em um conjunto de números ordenados em ordem de grandeza, a mediana é o valor do meio. Corresponde ao valor da variável, onde a frequência acumulada atinge o valor $F_N/2$.

Para o exemplo das medidas do rolamento, temos:

$$\tilde{x} = \frac{FA}{2} = \frac{60}{2} = 30$$

$$(33 - 21) \text{ ----- } 0,005$$

$$(30 - 21) \text{ ----- } \Delta$$

$$\Delta = \frac{9 \times 0,005}{12} = 0,00375$$

Logo

$$\tilde{x} = 50,050 + 0,00375$$

$$\tilde{x} = 50,05375$$

Notamos que, no gráfico da frequência relativa acumulada, o valor da mediana correspondente à frequência relativa acumulada é de 50%.

Moda ($\hat{x}$) – Em um conjunto de números a moda é o valor que ocorre com mais frequência, isto é, o valor mais comum.

Exemplos:

1) 2, 2, 3, 7, 8, 8, 8, 10, 10, 11, 12, 16

$$\tilde{x} = 8$$

2) 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

$$\hat{x} = ?$$

3) 2, 2, 3, 4, 4, 4, 5, 6, 7, 8, 8, 8, 9

$$\hat{x} = 4 \text{ e } 8$$

4) Para o exemplo dos rolamentos $x = 5$ (classe) ou ainda

$$\hat{x} = 50,0525$$

(Ponto médio – Classe 5) ou

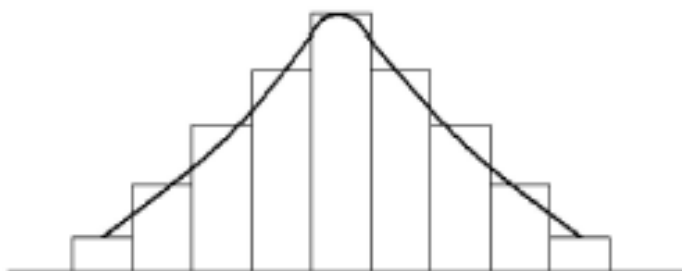
$$\frac{(50,050 + 50,055)}{2} = 50,0525$$

2.4- TIPOS DE DISTRIBUIÇÃO

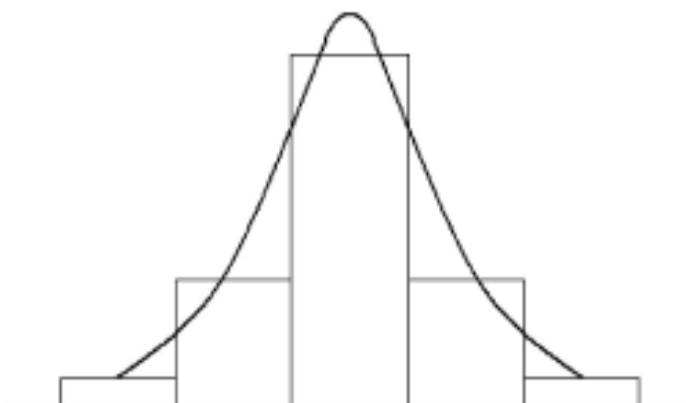
As distribuições de frequência se apresentam de diversas formas conforme as figuras a seguir:

2.4.1- Distribuição Simétrica ou em Forma de Sino – A distribuição é simétrica quando os valores se distribuem igualmente em torno da média ($\bar{X}$).

a) Normal



b) Alongada – É aquela em que a frequência máxima dos valores medidos é muito maior que as outras frequências

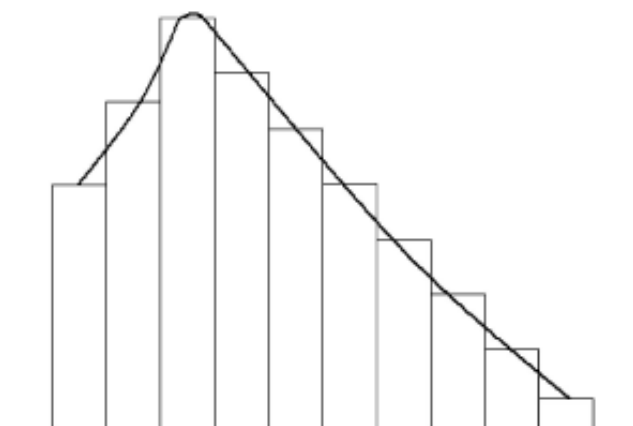
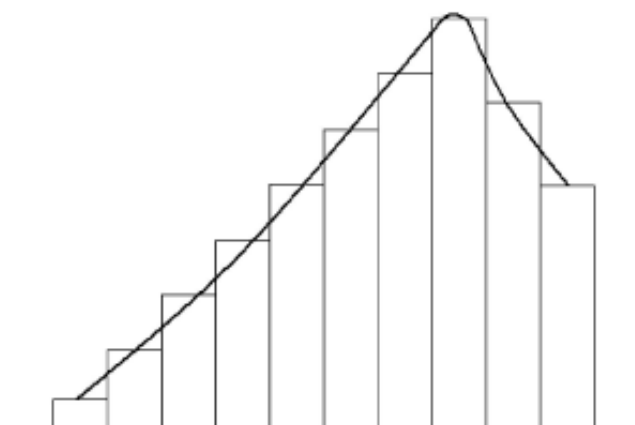


c) Achatada



2.4.2- Distribuição Assimétrica

É aquela em que as frequências dos valores medidos se distribuem de forma desigual em torno da média.

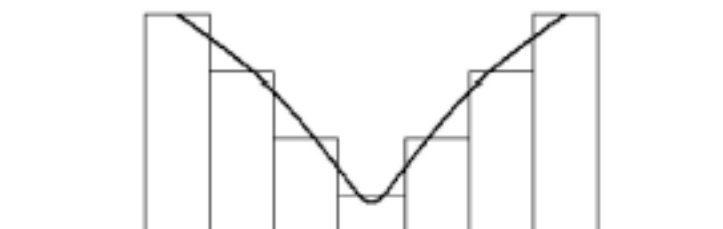
A) Assimétrica Positiva**B) Assimétrica Negativa****2.4.3- Distribuição Modal, Amodal, Bimodal e Multimodal**

Chamamos de moda numa distribuição, ao valor da medida ou classe que corresponde à frequência máxima. Sob o critério da moda, as distribuições classificam-se em:

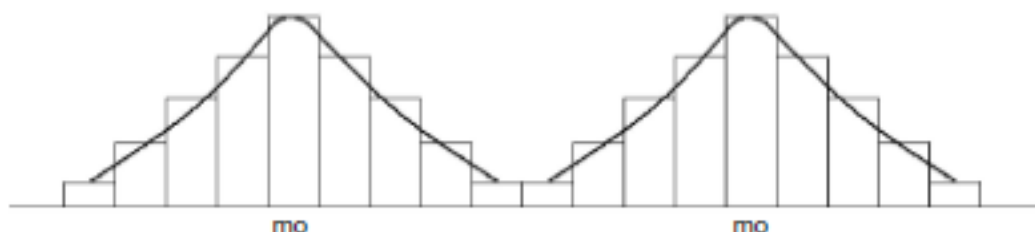
A) Distribuição Modal – Quando a distribuição tem frequência máxima ela é denominada modal.



B) Distribuição Amodal – Quando a distribuição não tem moda.



C) Distribuição Bimodal – Quando a distribuição tem duas modas.



2.4.4- Apresentação Tipo Ramos-e-Folhas



Uma alternativa para o uso da tabela de distribuição de frequências é usar o gráfico do tipo ramos-e-folhas.

Poderemos estudar a partir de um exemplo gráfico:

Observamos os seguintes números de passageiros em 50 viagens de um avião que faz ponte aérea Rio - São Paulo:

61	52	64	84	35	57	58	95	82	64
50	53	103	40	62	77	78	66	60	41
58	92	51	64	71	75	89	37	54	67
59	79	80	73	49	71	97	62	68	53
43	80	75	70	45	91	50	64	56	86

SOLUÇÃO:

														F	F.A.
3	5	7												2	2
4	0	1	3	5	9									5	7
5	0	0	1	2	3	3	4	6	7	8	8	9	12	19	
6	0	1	2	2	4	4	4	4	6	7	8		11	30	
7	0	1	1	3	5	5	7	8	9				9	39	
8	0	0	2	4	6	9							6	45	
9	1	2	5	7									4	49	
10	3												1	50	

A MEDIANA NESTE CASO SERÁ $\tilde{X} = 64$

2.5- A DISTRIBUIÇÃO E OS LIMITES DE TOLERÂNCIA

É preciso, quando se examinar uma distribuição de freqüências, analisar o que realmente está acontecendo com o processo em relação aos limites de trabalho determinados pela tolerância. Podem ocorrer os seguintes casos:

Normal Centrada (Tolerância compatível com o processo)

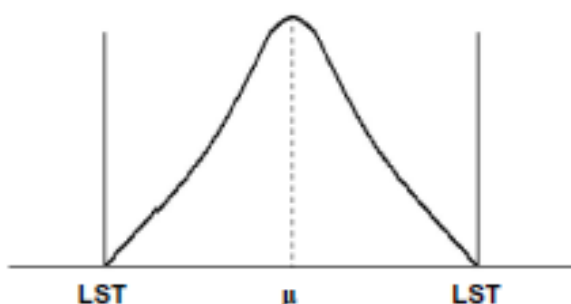


L.S.T. – Limite superior de tolerância

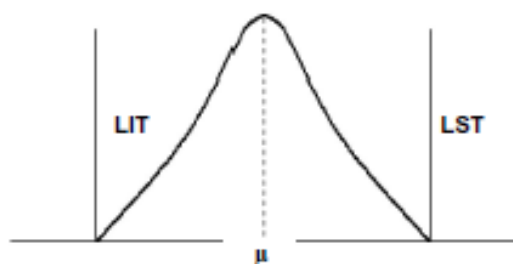
L.I.T. – Limite inferior de tolerância

O processo de fabricação é ideal, ocupando todo campo de tolerância, com pouca probabilidade de peças fora dos valores especificados.

Normal Centrada (Tolerância Incompatível com o Processo)



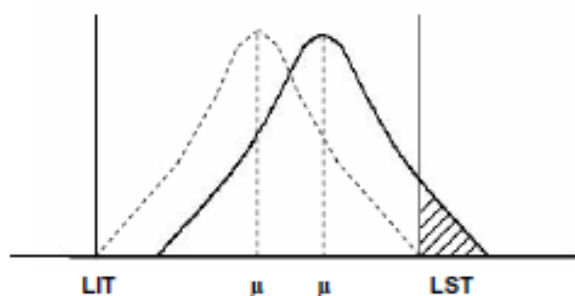
Processo sujeito a refugo
ou repasse
Máquina sem precisão
suficientemente.



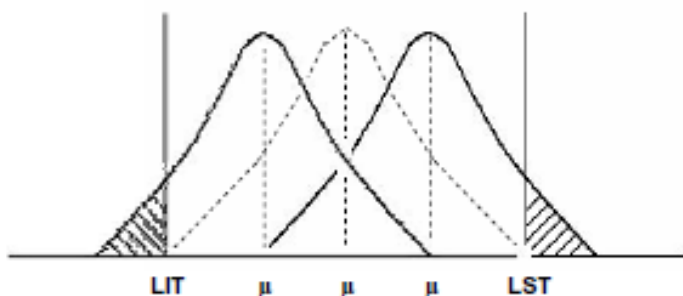
Processo muito caro.
A máquina poderia
estar realizando uma
operação de maior
precisão.

Normal Descentrada (Tolerância Compatível com o Processo)

Apesar da máquina ter precisão para fabricar a peça, a sua ajustagem permitiu que surgissem peças acima do limite de tolerância. É necessário ajustar o processo, para se obter a distribuição centrada.

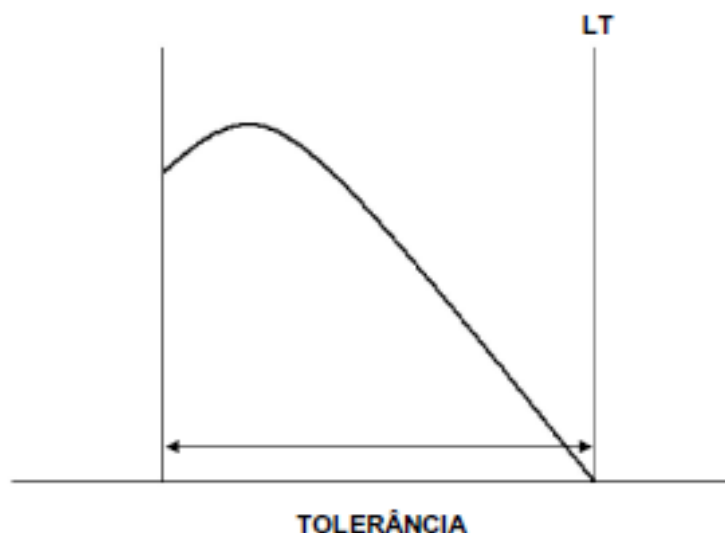


Normal Bipartida (Tolerância Compatível com o Processo)



Distribuição característica de 2 turnos de trabalho, isto é, dois ajustes diferentes de processo; se fosse centrado, evitaria o refugo existente nas duas distribuições.

Unilateral (Tolerância de Forma) – Esta distribuição aparece quando o característico de qualidade só tem um lado da tolerância (excentricidade, perpendicularismo, etc.)



Se o processo de fabricação não atender às especificações de tolerância, deveremos utilizar uma das seguintes alternativas:

Modificar a Tolerância: É preciso, nesse caso, que seja feito um estudo de engenharia a fim de verificar se a tolerância pode ser aumentada sem prejudicar o produto.

Alterar o processo de fabricação: A alteração do processo de fabricação, em geral, vem acompanhado de um investimento em equipamentos.

Separação 100%: É uma solução bastante cara que pode causar prejuízos.

3. MEDIDAS DE VARIABILIDADE (DISPERSÃO)

As **medidas de dispersão** indicam se os valores estão relativamente **próximos** uns dos outros, ou **separados**. Podemos dizer que dispersão é o grau com o qual os valores numéricos de uma distribuição **tendem a se distanciar** em torno de um valor médio.

Em todos os casos, o valor **zero** indica **ausência** de **dispersão**; a dispersão aumenta à proporção que **aumenta** o valor da medida (amplitude, desvio-padrão, variância).

XX X X X X XXX XXX XX X X

a) pequena dispersão

XX X X XXX X X X X X X X XX X X XXX X X X X X X X X X X X

b) grande dispersão

3.1- AMPLITUDE TOTAL

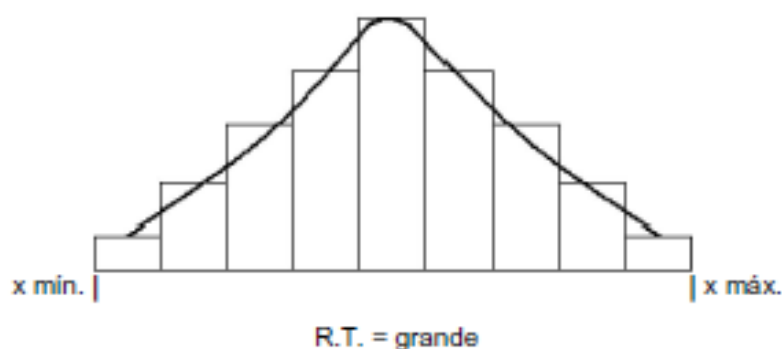
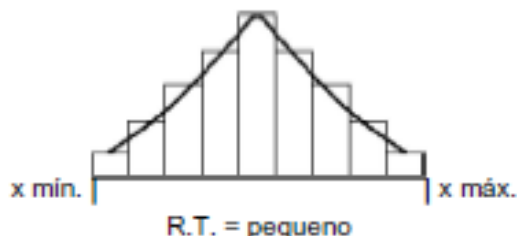
É a medida mais simples da dispersão. É a diferença entre o maior e o menor valor das observações.

$$R.T. = X_{\text{máx}} - X_{\text{min}}$$

Embora exista simplicidade de cálculo, existem duas restrições ao seu generalizado:

1- Utiliza apenas uma **parcela** das informações contidas nas observações. O seu valor **não se modifica** mesmo que os valores das observações variem, desde que conservem os seus valores **máximo e mínimo**.

2- Depende do **número de observações** na amostra. Em geral, o valor da amplitude cresce quando cresce o tamanho da amostra.



3.2- DESVIO PADRÃO

É a medida que determina a variação dos valores observados em torno da média da distribuição, e representa a distância do ponto de inflexão da curva até a linha da média.

b.1- Desvio Padrão Amostral (Γ)

O desvio padrão da amostra representa a dispersão da amostra e é dada pela equação:

$$\Gamma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}}$$

$$\Gamma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Onde: X_i = Moedas individuais

N = Números de elementos ou valores

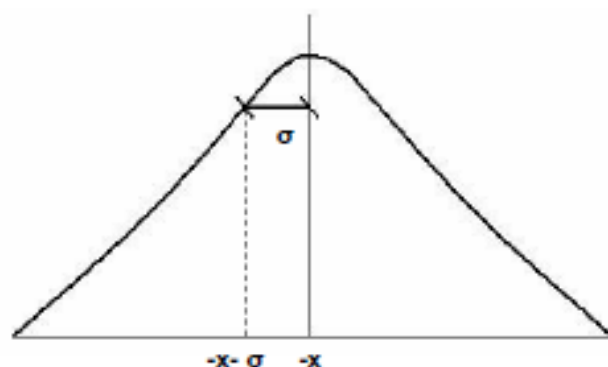
b.2- Desvio Padrão da População (σ)

O desvio padrão da população representa o grau de dispersão da população em torno da média. Representado por σ , também representa a distância do ponto de inflexão, e é dado pela expressão:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

b.3- Representação Gráfica do Desvio Padrão



b.4- Sistemização para o Cálculo

Para sistematizar o cálculo do desvio padrão de uma amostra é utilizado o seguinte procedimento:

- 1- Calcular o valor da média;

2- Montar a tabela abaixo

Observações medidas	X_i	$X_i - \bar{x}$	$(X_i - \bar{x})^2$
1	X_1	$X_1 - \bar{x}$	$(X_1 - \bar{x})^2$
2	X_2	$X_2 - \bar{x}$	$(X_2 - \bar{x})^2$
3	X_3	$X_3 - \bar{x}$	$(X_3 - \bar{x})^2$
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
n	X_n	$X_n - \bar{x}$	$(X_n - \bar{x})^2$
			$\Sigma (X_i - \bar{x})^2$

3- Aplicam-se as fórmulas:

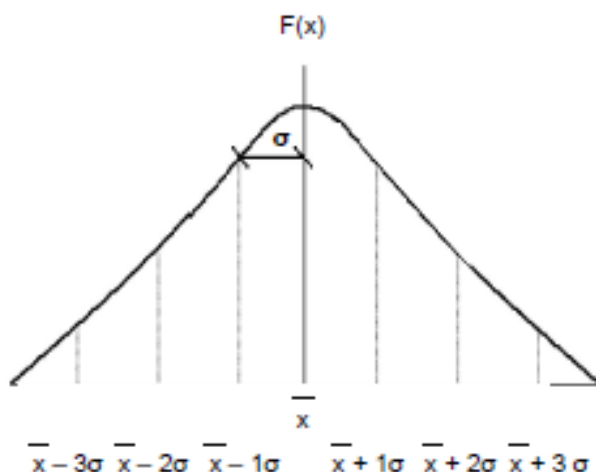
$$\Gamma = \sqrt{\frac{\Sigma (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

$$\Gamma_{n-1} = \sqrt{\frac{\Sigma (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

4. DISTRIBUIÇÃO NORMAL

(ou de GAUSS, ou de LAPLACE, ou ainda, dos ERROS DAS OBSERVAÇÕES)

É uma distribuição contínua e simétrica, cujo gráfico tem a forma de um sino. A distribuição normal é o resultado da atuação conjunta de causas aleatórias.



Parâmetros da Distribuição Normal

$\mu \rightarrow$ Média da População

$\sigma \rightarrow$ Desvio Padrão da População

} Determinam o formato da curva

Equação da Função de Probabilidade – A equação da função de probabilidade é dada pela expressão:

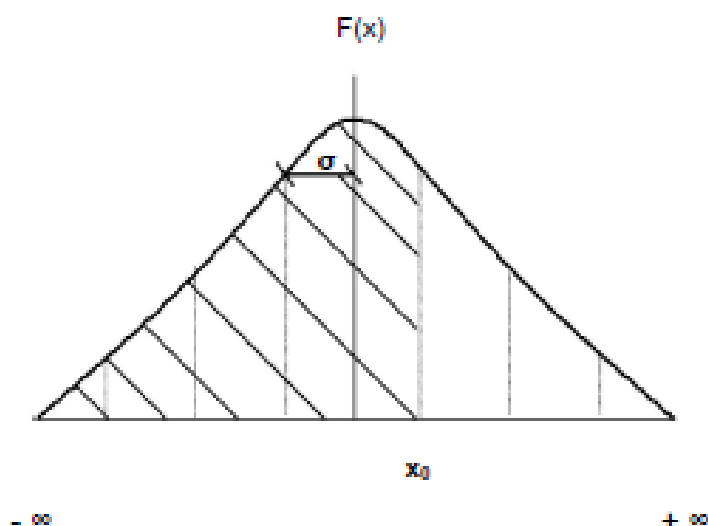
$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Do estudo de Estatística concluímos que:

- a variável x pode assumir qualquer valor real no intervalo $-\infty < x < +\infty$
- a variável x obedecerá a uma Distribuição Normal, se a probabilidade de que um valor x seja menor ou igual a outro x_0 for:

$$P(x < x_0) = f(x_0) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_0} e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx$$

- a integral da expressão representa a área compreendida entre $-\infty$ e x_0 .



Portanto:

"A probabilidade de ocorrência de um valor menor ou igual à área abaixo da curva, entre os valores $-\infty$ e x_0 ".

Os valores $\pi = 3,1416$ e e (número neperiano) $= 2,718$ são **constantes** numéricas.

4.1- CARACTERÍSTICAS DA CURVA DE DISTRIBUIÇÃO NORMAL

A curva normal obedece necessariamente às seguintes características:

- a) A média μ é o valor da variável x para o qual a $f(x)$ é máxima.
- b) O desvio padrão σ , é a distância entre a média e o ponto de inflexão da curva.
- c) A área total sob a curva normal é igual a 1, pela própria equação da probabilidade.
- d) Em virtude da simetria, as áreas à direita e à esquerda do valor μ são iguais.

4.2- DISTRIBUIÇÃO NORMAL PADRONIZADA

Se tornamos a equação auxiliar:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

o que significa adotar como origem dos z o ponto em que $x = \mu$ e como unidade de escalonados z e o desvio padrão σ , teremos transformado a expressão da função das probabilidades na distribuição normal reduzida:

$$f(z) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}}$$

Considerando, a partir da equação auxiliar:

$$\begin{aligned} dz &= 1 \\ dx &= \sigma \cdot dz \end{aligned}$$

Portanto, a função da probabilidade, em função de Z , será dada pela expressão:

$$f(z) = \frac{1}{\sigma \text{ RAIZ } 2\pi} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

As áreas sob a curva permanecem as mesmas, mas agora podem ser tabuladas em função dos valores de Z (ver figura abaixo, eixo dos Z). Basta construir a tábua das áreas para os valores $I(z)$, na tábua 1.

Por exemplo, a área desde $z = 0$, até $z = 1,0$ é $I(1,0) = 0,3413$ ou 34,13% da área total da curva; conseqüentemente, dentro do intervalo $\pm 1 \sigma$, temos 68,26% da área total da curva.

Se procurarmos a probabilidade de encontrarmos um valor de " x " dentro do intervalo $\mu \pm 0,95$, onde $\bar{x}$ é a média, σ é o desvio padrão da população, teremos:

$$P(-Z_0 \leq Z \leq Z_0) = P(\mu - 0,95 \sigma < Z < \mu + 0,95 \sigma)$$

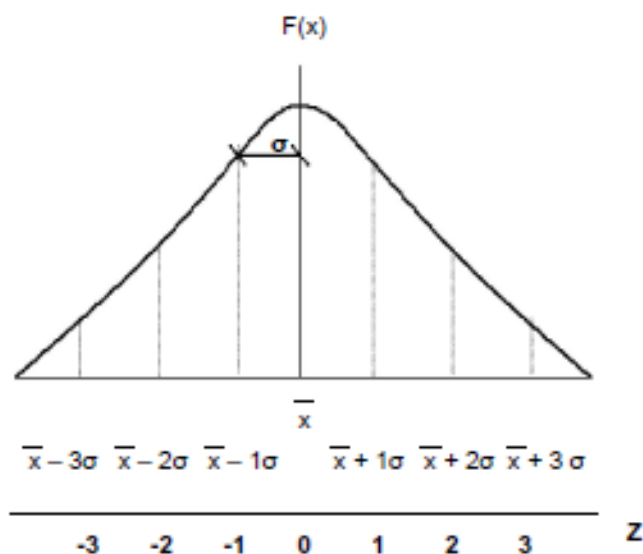
$$I(z)1 = 0,3289 \quad I_t = 0,6578 \text{ ou } 65,78\%$$

Apresentamos na tabela abaixo alguns dos mais importantes intervalos de distribuição normal para aplicações em exercícios de probabilidade na curva normal.

TÁBUAS DE ÁREAS DA CURVA NORMAL

A partir da equação auxiliar $Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$ podemos transformar valores de x em

valores de z e em seguida construir uma tabela com resultados das integrais, que corresponde à área sob a curva x_0 no intervalo de 0 a Z_0 , identificada por $Iz0$.



Transformação de X em Z

x_0	$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$	z_0
μ	$\frac{\mu - \mu}{\sigma}$	0
$\mu + 1\sigma$	$\frac{\mu + 1\sigma - \mu}{\sigma}$	1
$\mu + 2\sigma$	$\frac{\mu + 2\sigma - \mu}{\sigma}$	2
$\mu + 3\sigma$	$\frac{\mu + 3\sigma - \mu}{\sigma}$	3
$\mu - 1\sigma$	$\frac{\mu - 1\sigma - \mu}{\sigma}$	-1
$\mu - 2\sigma$	$\frac{\mu - 2\sigma - \mu}{\sigma}$	-2
$\mu - 3\sigma$	$\frac{\mu - 3\sigma - \mu}{\sigma}$	-3



ÁREAS $I Z_0 = P(0 \leq z \leq Z_0)$ para $Z_0 = (x - \mu) / \sigma$

Z_0	$I Z_0$	Z_0	$I Z_0$	Z_0	$I Z_0$	Z_0	$I Z_0$	Z_0	$I Z_0$	Z_0	$I Z_0$
0,00	0,0000	0,60	0,2257	1,20	0,3849	1,80	0,4641	2,40	0,4918	3,00	0,4987
0,05	0,0199	0,65	0,2422	1,25	0,3944	1,85	0,4678	2,45	0,4929	3,05	0,4989
0,10	0,0398	0,70	0,2580	1,30	0,4032	1,90	0,4713	2,50	0,4938	3,10	0,4990
0,15	0,0596	0,75	0,2734	1,35	0,4115	1,95	0,4744	2,55	0,4946	3,15	0,4992
0,20	0,0793	0,80	0,2881	1,40	0,4192	2,00	0,4772	2,60	0,4953	3,20	0,4993
0,25	0,0987	0,85	0,3051	1,45	0,4279	2,05	0,4798	2,65	0,4960	3,25	0,4994
0,30	0,1179	0,90	0,3159	1,50	0,4332	2,10	0,4821	2,70	0,4965	3,30	0,4995
0,35	0,1369	0,95	0,3289	1,55	0,4394	2,15	0,4842	2,75	0,4970	3,35	0,4996
0,40	0,1554	1,00	0,3413	1,60	0,4452	2,20	0,4861	2,80	0,4974	3,40	0,4997
0,45	0,1736	1,05	0,3531	1,65	0,4505	2,25	0,4878	2,85	0,4978	3,50	0,4998
0,50	0,1915	1,10	0,3643	1,70	0,4554	2,30	0,4893	2,90	0,4981	3,70	0,4999
0,55	0,2088	1,15	0,3749	1,75	0,4599	2,35	0,4906	2,95	0,4984	3,90	0,5000

EXERCÍCIOS

1- Trace uma curva normal e sombreie a área desejada a partir das informações:

- a) área à direita de $z = 1,0$
- b) área da esquerda de $z = 1,0$
- c) área entre $z = 0$ e $z = 1,54$
- d) área entre $z = 0$ e $z = -2,9$
- e) área entre $z = 1,0$ e $z = 2,0$
- f) área entre $z = -2,0$ e $z = 2,0$
- g) área entre $z = 2,5$ e $z = 3,0$

2- Ache os valores de z correspondentes às seguintes áreas:

- a) área à esquerda de μ para $I_z = 0,0596$
- b) área à esquerda de μ para $I_z = 0,0398$
- c) área à esquerda $I_z = 0,4505$ e área da direita $I_z = 0,4861$

45

3- Uma distribuição normal tem média 50 e desvio padrão 5. Que percentagem da população estaria provavelmente dentro dos intervalos:

- a) $P(x \leq 60)$
- b) $P(35 \leq x \leq 62)$
- c) $P(55 \leq x \leq 65)$
- d) $P(x \geq 55)$
- e) $P(35 \leq x \leq 45)$

4- Suponha que uma renda média de uma grande comunidade possa ser razoavelmente aproximada por uma distribuição normal com média anual de R\$10.000,00 e desvio padrão de R\$2.000,00.

- a) Que percentagem da população terá renda superior a R\$15.000,00?
- b) Numa amostra de 50 assalariados, quantos podemos esperar que tenham menos de R\$8.000,00 de renda?

5- Uma curva normal tem em média de 140,6 e desvio padrão de 3,70. Que percentagem da área sob a curva estará entre os limites de 135,5 e 142,5?

6- A variável x tem distribuição normal com média 150 e desvio padrão 30. Determinar as probabilidades para:

- a) $P(x \leq 202,5)$
- b) $P(120 \leq x \leq 165)$
- c) $P(180 \leq x \leq 210)$
- d) $P(x \leq 90)$

7- Para produzir uma peça com especificação de $\Phi = 15 \pm 0,05$ mm, dispomos de 3 máquinas com as seguintes características de processos:

1º $\mu = 15$ e $\sigma = 0,010$

2º $\mu = 15$ e $\sigma = 0,015$

3º $\mu = 15$ e $\sigma = 0,020$

Pede-se:

a) Escolher a máquina mais conveniente para o trabalho.

b) Qual a porcentagem provável de refugo?

5. GRÁFICOS DE CONTROLE

5.1- Processo sob Controle – O controle de fabricação é exercido pelo produtor **durante** o processo produtivo. O objetivo é manter a qualidade do produto satisfatoriamente **uniforme**, prevenindo a produção de itens fora da especificação de fabricação.

A verificação de que o processo **está ou não** sob controle é feita pelo exame dos itens das amostras extraídas **periodicamente**.

Se o processo estiver sob controle, as amostras apresentarão aquela variabilidade correspondente a amostras extraídas de uma população normal, isto é, a variabilidade devida apenas **ao acaso** na amostragem. O processo sob controle supõe, portanto, que o característico de qualidade do conjunto de itens produzidos possua **distribuição normal**.

Além disso, supões também que essa distribuição permaneça estável, isto é, que seus dois parâmetros, a **média** e o **desvio padrão**, permaneçam constantes, o que é verificado periodicamente pela extração de uma seqüência de amostras.

Por isso, diz-se que, em um processo sob controle, a variabilidade é devida tão somente a **causas aleatórias**. Estas causas de variação não provocam alterações apreciáveis na qualidade do produto; sua eliminação é impossível ou **antieconômica**, e por isso, as causas aleatórias são consideradas como parte natural do processo de fabricação.

Quando a variabilidade se torna anormal, as alterações nos característicos de qualidade do produto são sensíveis. As amostras indicarão que o processo de fabricação (isto é, **“a população”**) se modificou, e ficou fora de controle. As causas da modificação podem ser descobertas e, por isso, são denominadas causas **identificáveis**. Sua influência, rápida e crescente, exige pronta ação corretiva, no sentido de eliminar a presença dessas causas identificáveis. Contudo, quando acarretam melhoria de qualidade, sua identificação e adaptação contribuem para o **aperfeiçoamento do processo de fabricação**.

A presença de causas identificáveis é indicada pela ocorrência de diferenças insignificantes entre o valor observado e a média do processo, isto é, de valores amostrais **fora da taxa de controle** essa presença é revelada por meio de um dispositivo prático, o **gráfico de controle**.

5.2- Esquema Geral dos Gráficos de Controle – Baseando-se na distribuição **normal**, os gráficos de controle constituem um instrumento de diagnóstico de existência ou não de controle. A construção desses gráficos obedece a um esquema geral que, em cada caso, é adaptado. O esquema geral é o seguinte:

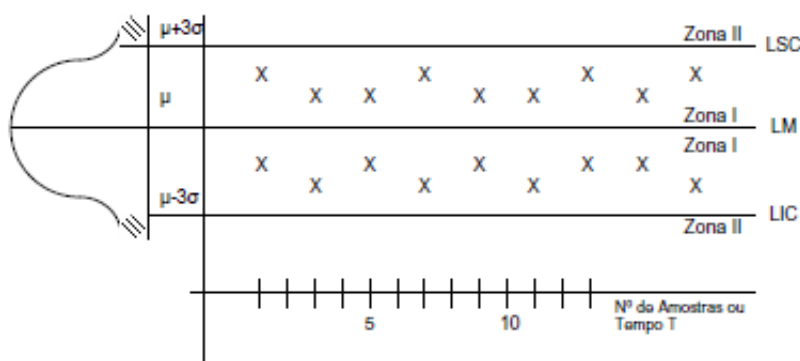


Figura 1

Em **abscissas**, marca-se o número de ordem **cronológica da amostra**, ou sequência das extrações. Desse modo, a **escala horizontal** é uniforme e associada ao tempo, porque as extrações são feitas a intervalos iguais durante a fabricação.

Em **ordenadas**, marca-se o valor observado **x** do característico de qualidade, o qual poderá ser uma **variável ou um atributo**. Na escala vertical há três valores importantes, pelos quais são traçadas linhas horizontais (os valores indicados são os do sistema norte-americano; diverso é o sistema inglês, explicado adiante).

- a **média** μ , que determina a linha média (ou linha central) do gráfico, indicada por **LM**;

- o limite superior do controle, $\mu + 3\sigma$, correspondente à linha superior de controle, **LSC**;

$\mu+3\sigma$ Zona II LSC

μ

$\mu-3\sigma$

Zona I

Zona I

Zona II

LM

LIC

X X X X

X X X X X

X X X X X

X X X X

5 10

Nº de Amostras ou
Tempo T

- o limite inferior de controle, $\mu - 3\sigma$, correspondente à linha inferior de controle, **LIC**.

O gráfico fica dividido em duas zonas: a **zona I**, interior aos “limites de controle de 3σ ” e correspondente à faixa de normalidade ou de controle.

Quando o processo estiver sob controle, existe a probabilidade de que ocorram apenas 3 pontos em cada mil (ou com maior aproximação 27 em cada 100 mil) na **zona II**, em virtude de **causas aleatórias**. Sendo essa **probabilidade baixa**, do ponto de vista prático, a ocorrência de **um ou mais** pontos na zona II indica a presença de uma causa identificável, que deverá ser **investigada e eliminada**.

As indicações de falta de controle são, portanto, as seguintes:

- a) Um **ponto situado fora** dos limites de controle, na zona II.
- b) **Alguns pontos** situados na zona I, muito **próximos** ou sobre uma das linhas de limite de controle.
- c) Uma **disposição peculiar** dos pontos na zona I, muito embora nenhum deles esteja próximo de uma linha de controle.

5.3- Finalidade de Gráficos de Controle – quando um processo está sob controle, somente causas aleatórias atuam sobre ele; a ocorrência de causas identificáveis levará o processo a ficar fora de controle.

Com base nesse critério, dois problemas se propõe na aplicação dos gráficos de controle, atendendo a duas finalidades diferentes:

a) Verificar se o **processo está sobre controle**, ou seja, a sua estabilidade. Para isso, somente valores observados em amostras são disponíveis; não existindo padrão de comparação, a linha média e os limites de controle são baseados na informação fornecida pelas amostras. A variação entre os valores amostrais, além daquela que poderia atribuir-se ao acaso, indicará falta de controle ou de estabilidade. A situação é a da fase inicial de um programa de controle de fabricação.

b) Verificar se o processo **permanece sob controle**. Corresponde a verificar a conformidade do processo de fabricação relativamente a uma norma preexistente.

Para isso, além dos valores observados nas amostras, dispõe-se de uma norma que estabelece o valor de linha média e dos limites de controle. A variação dos valores amostrais, além daquela admitida na norma e atribuível ao acaso, indicará que o processo saiu do controle. A situação é que existe quando se deseja manter a fabricação em determinado nível de qualidade.

5.4- Tipos de Gráficos de Qualidade – há duas classes principais de gráficos de controle de qualidade: a de controle de **variáveis** e a de controle de **atributos**.

Os gráficos de controle de **variáveis** se baseiam em **mensurações** do característico de qualidade. São de três tipos: de média **x**; do desvio padrão **S** e da amplitude **R**.

Os gráficos de controle de **atributos** se baseiam na verificação da presença ou ausência de um atributo, em especial com relação a uma lista de defeitos. Há quatro tipos: da **fração defeituosa p**; do **número np** de itens defeituosos na amostra de **tamanho n**; do **número u de defeitos** por unidade; do **número c de defeitos** em uma amostra.

Examinaremos, nos próximos capítulos, os principais desses gráficos e as condições de sua utilização.

5.5- Formação de Subgrupos Racionais – Muito embora o esquema geral dos gráficos de controle possa ser aplicado a observações individuais isoladas, na prática é empregado, quase exclusivamente para valores médios, sejam eles médias $\bar{x}$ barra das observações, ou médias de desvios padrões **S**, ou médias de amplitude **R**, ou ainda, médias da fração defeituosa **p**. Tais valores médios, calculados para amostras de tamanho **n**, justificam-se pelos motivos seguintes:

a) Observações **isoladas são mais dispersas** do que as médias.

Conseqüentemente, os limites de controle das observações isoladas ficariam muito distantes.

b) Em muitos casos, a distribuição das observações isoladas **não é a normal**; contudo, a média de amostras, mesmo tão pequenas como as de **n = 4**, tem distribuição aproximada da normal.

c) O emprego de amostras pode ser realizado pela formação de “**subgrupos racionais**”. Essa expressão significa que as amostras devem ser formadas de tal modo que, dentro de cada amostra, as variações possam ser atribuídas apenas a causas aleatórias; mas entre as amostras as variações sejam devidas a causas identificáveis, cuja presença seja suspeitada ou considerada possível.

5.6- Escolha do Tamanho da Amostra – o tamanho da amostra formada como subgrupo racional deve ser igual ou maior do que 4. São muito empregados nos gráficos de controle de variáveis, os tamanhos **4 e 5**.

Nos gráficos de controle de atributos, as amostras devem ser bem maiores, dependendo do tamanho **n** do valor da fração defeituosa **P** do processo. Um critério satisfatório é adotar **n** próximo de $10/P$ mas, qualquer que seja o tamanho da amostra, deverá ele corresponder a subgrupos racionais, cuja determinação se fará da melhor maneira possível de acordo com a unidade natural de fabricação. Além disso, haverá toda vantagem em adotar um tamanho **n** constante, para os vários gráficos de controle de um determinado processo de fabricação.

A experiência tem evidenciado que, na fase inicial, uma seqüência de **25 amostragens de n = 4** amostras ou de **20 amostragens de 5** amostras é suficiente para **estabelecer a norma** de controle de variáveis de um processo.

Para evidenciar a falta de controle, um número elevado de subgrupos de 4 itens é mais adequado do que poucos subgrupos de itens numerosos.

Para manter o processo sob controle, subgrupos de **4 ou 5** itens extraídos a intervalos regulares (**de hora em hora, dia a dia, ou semanalmente**), revelam-se suficientes. A escolha do intervalo adequado para extração das amostras depende do ritmo e da uniformidade do processo de fabricação comparados ao custo do sistema de controle. Somente em cada caso particular será possível decidir a respeito, com base na experiência.

6. CONTROLE DE VARIÁVEIS

6.1- Limite de Controle no Sistema Norte-Americano – os três gráficos de controle de variáveis – da média $\bar{x}$ barra, do desvio padrão S , e da amplitude R – são explicados a seguir, de acordo com o sistema norte-americano (normas da ASA e ASTM).

Esse sistema baseia-se no intervalo 3 sigma de modo que os limites de controle são, respectivamente:

Para a média $\mu\bar{X} \pm 3 \sigma\bar{X}$

Para o desvio padrão $\mu S \pm 3 \sigma S$

Para a amplitude $\mu R \pm 3 \sigma R$

A probabilidade de que um ponto caia na zona II é, aproximadamente, 0.003 ou 3 vezes em cada mil, enquanto a probabilidade de que caia na zona I é 0.997 aproximadamente.

6.2- Gráfico da Média – conhecida a Norma de Controle (μ e σ) – a distribuição amostral da média $\bar{x}$ barra, de amostras extraídas de uma população normal, com média μ e desvio padrão σ , é também normal, com $\mu\bar{X} = \mu$ e $\sigma\bar{X} = \sigma / \sqrt{n}$.

O gráfico de controle das médias $\bar{x}$ de amostras de tamanho n é construído marcando-se em ordenadas a linha média $LM = \mu\bar{X} = \mu$, o limite superior de controle $LSC = \mu + 3\sigma / \sqrt{n}$.

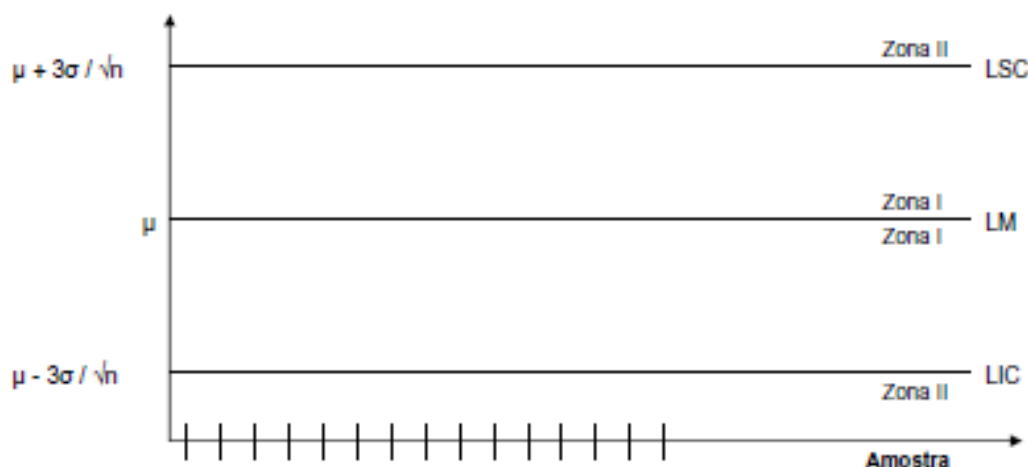
Fazendo-se $A = 3 / \sqrt{n}$, os valores podem ser tabelados em função do tamanho da amostra, e a expressão dos limites torna-se:

$$LSC = \mu + A\sigma$$

$$LIC = \mu - A\sigma$$

Para cada amostra (subgrupo racional), calcula-se a média $\bar{x}$ e marca-se no gráfico um ponto cuja ordenada é $\bar{x}$ e cuja abscissa é o número de ordem da amostra (ou o tempo).

Figura 2



6.3- Gráfico da Média para Norma Desconhecida – Quando os parâmetros forem desconhecidos, caso muito comum especialmente na fase inicial do controle, será necessário calcular estimativas dos parâmetros as quais deverão basear-se, no mínimo, em $k = 25$ amostras de $n = 4$ ou $k = 20$ amostras de $n = 5$ itens.

6.3.1- Estimativa da Média – a estimativa da **média** μ será calculada pela média geral (ou média das médias das amostras).

$$\bar{X} = 1/R (x_1 + x_2 + \dots + x_R)$$

Onde x_1 é a média da primeira amostra, x_2 a da segunda amostra e assim por diante.

A linha média é marcada $LM = \bar{X}$

6.3.2- Estimativa do Desvio Padrão – o cálculo da estimativa do desvio padrão pode basear-se no desvio padrão s ou na amplitude R das amostras. O segundo processo é o usual, quando for $n = 4$ ou 5 , porque além de precisão satisfatória, requer apenas cálculo simples.

a) **Pelo Desvio Padrão Amostral** – Para a i -ésima amostra, de n itens, o desvio padrão amostral é:

$$s_i = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}}$$

A estimativa do desvio padrão da população σ é obtida calculando-se preliminarmente o desvio padrão amostral médio.

$$S = 1 / K (s_1 + s_2 + \dots + s_K)$$

Onde s_1 é o desvio padrão da primeira amostra, s_2 da segunda, etc.

A estimativa de σ é então:

$$\sigma = s / c_2$$

onde c_2 é o fator de correção tabelado da estimativa, em função do tamanho n da amostra. Para amostras com mais de 25 itens, $c_2 = 1,000$, o que significa não ser necessária correção.

Os limites de controle baseados em s são, portanto:

$$LSC = \bar{x} + \sqrt{3} s / c_2$$

$$LIC = \bar{x} - \sqrt{3} s / c_2$$

Para facilitar, faz-se $A_1 = \sqrt{3} / c_2$, cujos valores em função de n , tamanho da amostra, são tabelados.

Os limites de controle ficam:

$$LSC = \bar{x} + A_1 \cdot s$$

$$LIC = \bar{x} - A_1 \cdot s$$

b) **Pela Amplitude Amostral** – Para estimar o desvio padrão σ , com base na amplitude R das amostras, calcula-se, para cada uma delas, a diferença entre o maior e o menor valor observado ($X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}$). Em seguida, calcula-se a média das amplitudes das K amostras.

$$R = (R_1 + R_2 + \dots + R_K) / K$$

A estimativa de σ é: $\sigma = R / d_2$

Onde d_2 é um fator de correção, tabelado em função do tamanho n da amostra.

Para facilitar, faz-se $A_2 = 3 / d_2 \sqrt{n}$, cujos valores são também tabelados. Então os limites de controle ficam:

$$LSC = \bar{X} + A_2 \cdot R$$

$$LIC = \bar{X} - A_2 \cdot R$$

Resumo: para estabelecer o gráfico de controle da média, na fase inicial ou quando se desconhecem μ e σ , observam-se os seguintes passos:

1. Fixar o tamanho das amostras n (usualmente 4 ou 5) e o número K das amostras (no mínimo 25, ou 20, respectivamente). Extrair as amostras, registrar os valores observados, e calcular para cada uma $\bar{X}$ e R . Calcular $\bar{\bar{X}}$, e marcar a linha média $LM = \bar{\bar{X}}$.

2. Calcular R ou s e os limites de controle $\bar{X} \pm A_2R$, ou $\bar{X} \pm A_1s$, conforme o processo escolhido para estimar σ ; marcar LSC e LIC.

3. Marcar os valores de $\bar{X}$ para as amostras (do passo 1). Se forem encontrados pontos na zona II, eles serão eliminados, recalculando-se a linha média e os limites.

4. O gráfico obtido constitui a norma de controle de fabricação; permitirá acompanhar o processo, extraído-se amostras e marcando-se os valores de $\bar{X}$ correspondentes.

Interpretação do Gráfico da Média – Na fase inicial do sistema de controle ainda não existe norma, isto é, não se conhecem os valores de μ e σ do processo. A construção do gráfico da média baseia-se, então, somente nos valores amostrais, com a determinação da linha média e dos limites de controle, como acima foi explicado. O gráfico será empregado para verificar se o processo está sob controle, para que se marquem os pontos referentes às amostras já utilizadas no cálculo dos limites.

Pontos situados na zona I indicam que o processo está sob controle. Pontos sob as linhas de controle ou na zona II indicam falta de controle; neste caso, tais pontos serão eliminados, e a linha média e os limites, recalculados. Para se alcançar a norma do processo sob controle, nenhum ponto deverá situar-se fora da zona I.

Uma vez reconhecidos μ e σ após a fase inicial, passa-se à fase de controle propriamente dito, na qual interessa verificar se o processo se mantém sob controle. O

gráfico será agora construído de acordo com a norma estabelecida, isto é, linha média e limites de controle determinados na fase inicial.

Extraem-se novas amostras e marcam-se os pontos no gráfico.

Os valores de $\bar{x}$ deverão situar-se na zona I, para que o processo se mantenha sob controle. Um ponto na zona II ou sobre a linha dos limites constitui indicação de que se deve investigar uma causa identificável de perturbação no processo.

Espera-se que 3 vezes em mil (ou melhor, 27 em 10.000), essa conclusão seja errônea, isto é, o processo ainda se mantenha sob controle.

Se de fato existir uma causa identificável, os pontos começarão a cair na zona II.

Se a média μ do processo estiver alterada, valores de $\bar{x}$ aparecerão acima ou abaixo das linhas dos limites, conforme a média μ tenha aumentado ou diminuído, mantendo-se σ constante. Se, ao contrário, o desvio padrão σ é que estiver alterado, os valores de $\bar{x}$ aparecerão acima e abaixo dos limites, como indicação de que a dispersão do processo aumentou e, portanto, σ aumentou. Se tiver havido redução da dispersão, o fato não será evidenciado pelo gráfico da média.

1º Gráfico da Média

O gráfico da média é sensível a variações na média μ do processo, mas insuficiente para evidenciar todas as variações na dispersão. Por isso, seu emprego deverá conjugar-se a um gráfico de controle da dispersão.

6.4- Gráfico do Desvio Padrão – conhecida a norma de controle – uma distribuição não pode ser caracterizada apenas por seu valor médio; é necessário conhecer também uma medida da dispersão dos itens em torno da média. Por isso, o gráfico da média não é suficiente para evidenciar a ocorrência de valores demasiadamente afastados, acima ou abaixo da média, os quais poderão se compensar deixando a média inalterada. Convém, portanto, estabelecer um gráfico de controle de dispersão, escolhendo o gráfico de desvio padrão ou o gráfico da amplitude.

Como foi visto anteriormente, a linha é dada por:

$$\mu_S = c_2 \cdot \sigma$$

enquanto o desvio padrão da aproximação normal é

$$\sigma_S = \left[\frac{2(n-1)}{2} - 2n c_2^2 \right]^{1/2} \sigma / \sqrt{2n}$$

e o intervalo de controle de 3-sigma é:

$$\mu_S \pm 3 \sigma_S$$

Para facilitar as aplicações, definem-se os fatores:

$$B1 = c_2 - \frac{3}{\sqrt{2n}} [2(n-1) - 2nc_2^2]^{1/2}$$

$$B2 = c_2 - \frac{3}{\sqrt{2n}} [2(n-1) - 2nc_2^2]^{1/2}$$

Cujos valores estão tabelados.

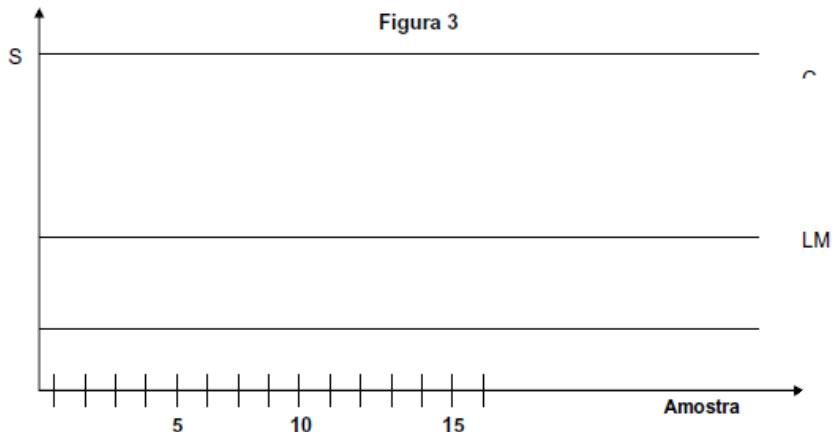
Os limites de controle são calculados pelas fórmulas:

$$LIC = B_1 \cdot \sigma$$

$$LSC = B_2 \cdot \sigma$$

Quando for dado σ , isto é, quando já se tiver a norma de controle estabelecida.

Para cada amostra (subgrupo racional) calcula-se o desvio padrão s e marca-se no gráfico um ponto cuja ordenada é s e a abscissa o número de ordem da amostra ou o tempo.



6.5- Gráfico do Desvio Padrão – Norma Desconhecida – Quando σ não for conhecido, deveremos calcular uma estimativa pela fórmula:

$$\bar{\sigma} = s / c_2$$

Os limites de controle $\mu_3 + -3\sigma_3$ tomam então a forma

$$\left\{ 1 \pm \frac{3}{c_2 \sqrt{2n}} [2(n-1) - 2nc_2^2]^{1/2} \right\} s$$

Na qual se substituem os fatores tabelados.

$$B_3 = 1 - \frac{3}{c_2 \sqrt{2n}} [2(n-1) - 2nc_2^2]^{1/2}$$

$$B_4 = 1 + \frac{3}{c_2 \sqrt{2n}} [2(n-1) - 2nc_2^2]^{1/2}$$

Assim, desconhecendo-se σ , os limites de controle são:

$$LIC = B_3 \cdot s$$

$$LSC = B_4 \cdot s$$

E a linha média,

$$LM = \bar{s}$$

6.6- Gráfico da Amplitude – Norma conhecida – O cálculo da amplitude é muito mais simples que o do desvio padrão. Além disso, a aproximação normal para a distribuição da amplitude será satisfatória quando a amostra contiver no máximo 10 itens.

Compreende-se facilmente porque o **gráfico da amplitude R** é mais empregado que o gráfico de s , para controle da dispersão, com amostras pequenas de até 10 itens. Os coeficientes necessários, para facilidade de cálculo, são também tabelados (Tábua 2). Existindo já a norma de controle, isto é, dado o valor de σ , a linha média é

$$\mu_R = d_2 \cdot \sigma$$

e o desvio padrão da distribuição normal aproximada de R é

$$\sigma_R = d_3 \cdot \sigma$$

e, portanto, o intervalo de controle de 3-sigma fica

$$d_2 \cdot \sigma \pm d_3 \cdot \sigma = (d_2 \pm 3d_3) \cdot \sigma$$

Definindo os seguintes coeficientes em função de n

$$D_1 = d_2 - 3d_3$$

$$D_2 = d_2 + 3d_3$$

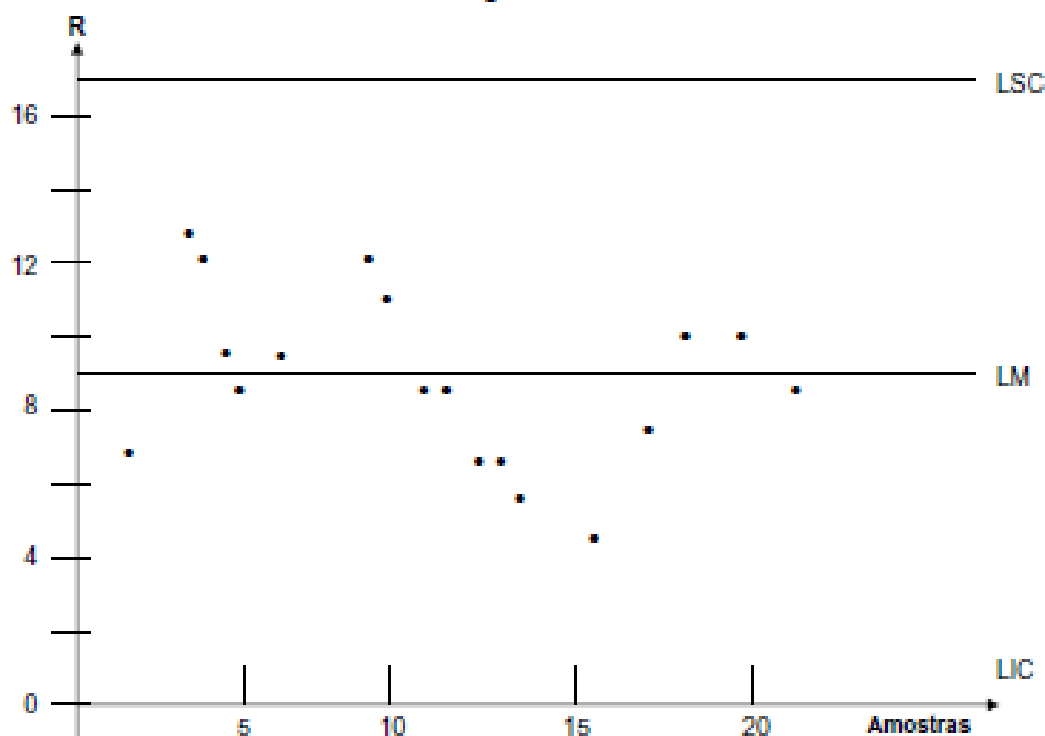
Os limites de controle serão calculados pelas fórmulas:

$$LIC = D_1 \cdot \sigma$$

$$LSC = D_2 \cdot \sigma$$

A marcação dos pontos no gráfico da amplitude se faz de maneira análoga a dos casos anteriores.

Figura 4



6.7- Gráfico da Amplitude – Norma Desconhecida – Quando se desconhece σ , deve-se calcular sua estimativa pela fórmula:

$$\sigma = \bar{R} / d_2$$

Neste caso, a linha média é dada pela média das amplitudes amostrais:

$$LM = \bar{R}$$

O intervalo de controle fica igual a

$$(1 \pm 3d_3 / d_2)$$

mas, fazendo-se

$$D_3 = 1 - (3d_3 / 3d_2)$$

$$D_4 = 1 + (3d_3 / 3d_2)$$

Coefficientes que são tabelados em função de n, os limites de controle se escrevem:

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

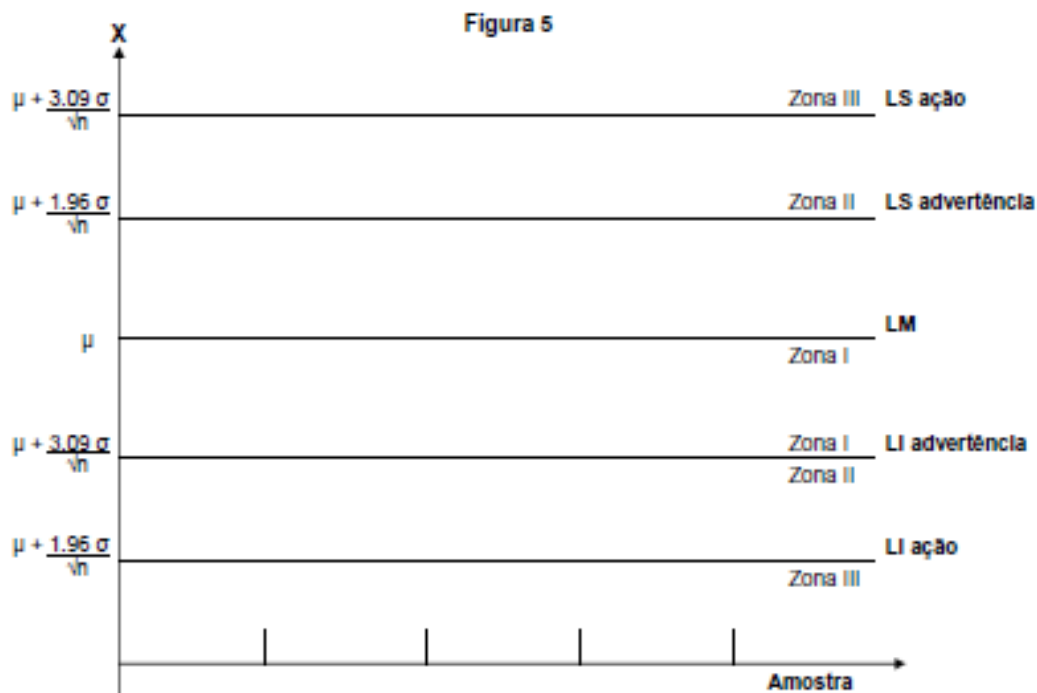
$$LSC = D_4 \cdot \bar{R}$$

6.8- Sistema Inglês de Controle – O sistema inglês de controle de fabricação (pela British Standard 600 R) é diferente do sistema norte-americano descrito acima.

Em vez de considerar as duas zonas, separadas pelo valor crítico $z_c = \pm 3\sigma$, o sistema inglês considera três zonas, separadas respectivamente pelos valores críticos $z_c = +1.96$ e $z_c = \pm 3.09$.

Tais valores correspondem aos limites dos intervalos da distribuição normal reduzida dentro dos quais a probabilidade é, respectivamente, 95% e 99.8%.

No sistema inglês, os gráficos apresentam três zonas (Fig. 38).



O significado das zonas é o seguinte:

- **Zona I**, denominada zona de controle, deve conter a maioria dos pontos (95%) se o processo estiver sob controle;
- **Zona II**, denominada zona de advertência, pode conter alguns pontos (4.8%); a presença de um ponto nesta zona representa uma advertência quanto à possível falta de controle exigindo atenção;
- **Zona III**, denominada zona de ação, não deve conter praticamente qualquer ponto (0.2%) quando o processo estiver sob controle, exigindo ação corretiva.

De modo análogo ao do sistema norte-americano, para facilitar o cálculo dos limites quando não for dada a norma (isto é, μ e σ são desconhecidos), recorre-se a fatores tabelados em função de n , tamanho da amostra. Neste caso, para amostras com 10 itens, no máximo, o desvio padrão σ é estimado por meio da amplitude média R enquanto a estimativa da média μ será a média geral $\bar{X}$. No sistema inglês, não se usa o gráfico do desvio padrão.

6.8.1- Gráfico da Média – No gráfico da média, teremos:

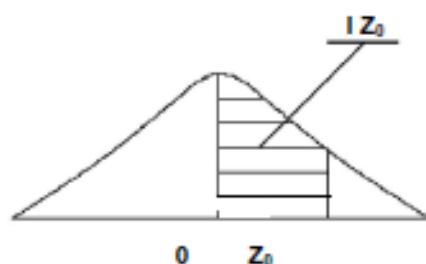
Linha Média	$LM = \bar{X}$
Limite Superior de Advertência	$S_{0.95} = \bar{X} + a_1 \cdot \bar{R}$
Limite Inferior de Advertência	$LI_{0.95} = \bar{X} - a_1 \cdot \bar{R}$
Limite Superior de Ação	$LI_{0.998} = \bar{X} + a_2 \cdot \bar{R}$
Limite Inferior de Ação	$LI_{0.998} = \bar{X} - a_2 \cdot \bar{R}$

Os fatores a_1 e a_2 encontram-se tabelados. Observa-se que os limites superiores e inferiores são simétricos em relação à linha média.

6.8.2- Gráfico das Amplitudes – O gráfico das amplitudes no sistema inglês apresenta também três zonas, com o mesmo significado explicado anteriormente. Observa-se, porém, que neste gráfico de amplitudes os limites não são simétricos em relação à amplitude média $\bar{R}$. Isto explica porque são necessários quatro fatores diferentes para calcular os limites. As linhas a marcar no gráfico são:

Linha Média	$= \bar{R}$
Limite Superior de Ação	$= b_1 \cdot \bar{R}$
Limite Superior de Advertência	$= b_2 \cdot \bar{R}$
Limite Inferior de Advertência	$= b_3 \cdot \bar{R}$
Limite Inferior de Ação	$= b_4 \cdot \bar{R}$

Os coeficientes b_1 , b_2 , b_3 e b_4 são tabelados.



ÁREAS $I Z_0 = P (0 \leq z \leq Z_0)$ para $Z_0 = (x - \mu) / \sigma$

Z_0	$I Z_0$	Z_0	$I Z_0$	Z_0	$I Z_0$	Z_0	$I Z_0$	Z_0	$I Z_0$	Z_0	$I Z_0$
0,00	0,0000	0,60	0,2257	1,20	0,3849	1,80	0,4641	2,40	0,4918	3,00	0,4987
0,05	0,0199	0,65	0,2422	1,25	0,3944	1,85	0,4678	2,45	0,4929	3,05	0,4989
0,10	0,0398	0,70	0,2580	1,30	0,4032	1,90	0,4713	2,50	0,4938	3,10	0,4990
0,15	0,0596	0,75	0,2734	1,35	0,4115	1,95	0,4744	2,55	0,4946	3,15	0,4992
0,20	0,0793	0,80	0,2881	1,40	0,4192	2,00	0,4772	2,60	0,4953	3,20	0,4993
0,25	0,0987	0,85	0,3051	1,45	0,4279	2,05	0,4798	2,65	0,4960	3,25	0,4994
0,30	0,1179	0,90	0,3159	1,50	0,4332	2,10	0,4821	2,70	0,4965	3,30	0,4995
0,35	0,1369	0,95	0,3289	1,55	0,4394	2,15	0,4842	2,75	0,4970	3,35	0,4996
0,40	0,1554	1,00	0,3413	1,60	0,4452	2,20	0,4861	2,80	0,4974	3,40	0,4997
0,45	0,1736	1,05	0,3531	1,65	0,4505	2,25	0,4878	2,85	0,4978	3,50	0,4998
0,50	0,1915	1,10	0,3643	1,70	0,4554	2,30	0,4893	2,90	0,4981	3,70	0,4999
0,55	0,2088	1,15	0,3749	1,75	0,4599	2,35	0,4906	2,95	0,4984	3,90	0,5000

a) Áreas $I(z_0) = P(0 \leq z \leq z_0)$ para $z_0 = (x - \mu) / \sigma$, (positivo)

FORMULÁRIO PARA CÁLCULO DOS LIMITES DOS GRÁFICOS DE VARIÁVEIS

NORMA (ASA – ASTM AMERICANO)

GRÁFICO DE CONTROLE da	NORMA CONHECIDA		NORMA DESCONHECIDA	
	Linha Média	Limites	Linha Média	Limites
MÉDIA	μ	$\mu \pm A\sigma$	$\bar{\mu X}$	$\bar{\mu X} \pm A_2 \bar{R}$
AMPLITUDE	$d_2 \cdot \sigma$	$d_1 \cdot \sigma ; d_2 \cdot \sigma$	$\bar{R}$	$d_3 \cdot \bar{R} ; d_4 \cdot \bar{R}$

SISTEMA AMERICANO

Tamanho da Amostra n	GRÁFICO DA MÉDIA			GRÁFICO DA AMPLITUDE					
	Limites de Controle			Linha Média		Limites de Controle			
	A	A ₁	A ₂	d ₂	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
4	1,500	1,880	0,729	2,059	0,880	0	4,698	0	2,282
5	1,342	1,596	0,577	2,326	0,864	0	4,918	0	2,115

(Reprodução Parcial do "ASTM – Manual on Quality Control of Materials")

EXERCÍCIOS

1- Com os dados abaixo, calcular os limites do Gráfico da Média e da Amplitude no Sistema Americano.

Estimar a Norma de Controle

Calcular CP e CPkd CPKe para uma tolerância 214^{+13}_{-13}

	207	220	210	210	217
	213	204	214	220	211
	210	213	219	213	213
	215	211	215	217	218
	201	214	217	214	213
Média					
R					

	215	214	221	213	207
	216	208	211	218	213
	221	217	218	207	215
	219	214	205	210	212
	222	209	220	208	223
Média					
R					

	210	217	213	219	216
	212	224	218	214	218
	204	211	214	215	216
	209	220	215	223	206
	212	209	212	217	212
Média					
R					

	225	212	203	214	210
	215	208	216	211	226
	218	215	222	205	224
	213	211	206	215	214
	216	216	221	207	215
Média					
R					

2- Construir para amostras de $n = 5$ itens, o gráfico de controle da média de um processo de fabricação de eixos com as seguintes características: média do processo $\mu = 5.60$ mm e desvio padrão $\sigma = 0.05$ mm.

3- Na fase inicial do controle de um processo de fabricação, foram extraídas 20 amostras de 5 itens; os valores observados constam na tabela abaixo.

Construir o gráfico de controle da média.

Amostra	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	$\bar{X}$	R
1	143	137	145	137	138	140.0	8
2	141	142	147	140	140	142.0	7
3	142	137	145	140	132	139.2	13
4	137	147	142	137	135	139.6	12
5	137	146	142	142	140	141.4	9
6	145	144	146	148	149	146.4	5
7	137	145	144	137	140	140.6	8
8	144	142	143	135	144	141.6	9
9	140	132	144	145	141	140.4	13
10	132	135	136	130	141	134.8	11
11	137	142	142	145	143	141.8	8
12	142	142	143	140	135	140.4	8
13	136	142	140	139	137	138.8	6
14	142	144	140	138	143	141.4	6
15	139	146	143	140	139	141.4	7
16	140	145	142	139	137	140.6	8
17	134	147	143	141	142	141.4	13
18	138	145	141	137	141	140.4	8
19	140	145	143	144	138	142.0	7
20	145	145	137	138	149	141.0	8

4- Construir para amostras de $n = 5$ itens, o gráfico de controle de desvio padrão de um processo de fabricação $\mu = 5.60$ e $\sigma = 0.05$.

5- Estabelecer o gráfico da amplitude R, para controle de dispersão com amostras $n = 5$ itens, para processo de fabricação no qual se extraíram, na fase inicial, 20 amostras, conforme a tabela do exercício 2.

6- Gráficos de Controle para $\bar{X}$ e R são mantidos para a tensão de ruptura em quilos de certo material. O subgrupo é de 5 elementos. Os valores de $\bar{X}$ e R são

calculados para cada subgrupo. Após 25 subgrupos, $\Sigma R = 120.0$. Calcule os valores dos limites de 3σ para os gráficos de $\bar{X}$ e R , e estime o valor de σ assumindo que o processo está sob controle.

Resp.: 23, 4; 17, 8; 10, 1; 0; 2, 06.

7 – Gráficos de Controle para $\bar{X}$ e σ são mantidos para o peso em libras das caixas de certo produto. O subgrupo é 10. Os valores de $\bar{X}$ e σ são calculados para cada subgrupo. Após 18 subgrupos, $\Sigma \bar{X} = 595.8$ e $\Sigma \sigma = 8.24$. Calcule os limites de controle dos gráficos.

7. CONTROLE DE ATRIBUTOS

7.1- Limitações Práticas dos Gráficos de Controle de Variáveis – A respeito das vantagens dos gráficos de controle de média, do desvio padrão e da amplitude, todos poderosos instrumentos de diagnose dos problemas de qualidade, é evidente que seu uso é limitado a uma pequena fração dos característicos de qualidade especificados, principalmente para produtos manufaturados.

Limitação são gráficos de variáveis, isto é, para características de qualidade que sejam mensuráveis e possam ser expressos em números. Muitos característicos de qualidade podem ser observados somente como atributos, isto é, pela classificação de cada item inspecionado em uma de duas classes, estejam dentro ou fora dos limites de tolerância.

Ainda, mesmo para os característicos de qualidade que podem ser medidos, o uso indiscriminado de gráficos de controle de variáveis será freqüentemente impraticável ou antieconômico.

Por exemplo, o departamento de inspeção de uma fábrica tem a responsabilidade de verificar 500 dimensões. Embora qualquer uma dessas dimensões pudessem ser medidas como variáveis, é óbvio que não poderíamos manter 1000 pares de gráficos.

Não devemos escolher dimensões para gráficos de variáveis a menos que haja possibilidade de economia – custo de refugo, retrabalhando, custos de inspeção – ou atingir um grau de qualidade que compensasse os custos de medir, manter os gráficos e analisá-los.

Porém, existe um tipo alternativo de gráfico de controle que pode ser usado, que são os gráficos de Controle de Atributos.

7.2- Condições para o Controle de Atributos – O controle de atributos é recomendável especialmente quando se verifica uma (ou mais de uma) das seguintes condições:

- a) O número de característicos a controlar em cada peça é elevado;

- b) Em lugar de mensurações convém empregar calibres passa-não-passa;
- c) A mensuração do característico é antieconômica diante do custo de cada peça;
- d) A verificação de qualidade é feita por simples inspeção visual.

O controle de atributos é o único possível quando o característico de qualidade não seja mensurável, como por exemplo, a falta de partes, a cor cujo estado do acabamento da peça.

7.3- Tipos de Gráfico por Atributos – Para o controle de atributos existem quatro tipos de gráficos:

- **Gráfico da fração defeituosa – p**
- **Gráfico do número de defeituosos – np**
- **Gráfico do número de defeitos por unidade – u**
- **Gráfico do número de defeitos – c**

7.4- Distinção entre um Defeito e um Defeituoso

- **Defeituoso** – é um artigo que, de alguma forma, falha em atender a um ou mais especificações.

- **Defeito** – é o não atendimento do artigo a uma determinada especificação.

Um defeituoso pode conter um ou mais defeitos.

7.5- Gráfico da Fração Defeituosa – p – As peças, de acordo com o critério estabelecido, são classificadas em perfeitas ou defeituosas, isto é, por um critério dicotômico. Admitindo-se que o processo de fabricação esteja sob controle, a probabilidade de ser produzida uma peça defeituosa é constante.

Na amostra, a fração defeituosa p é o quociente do número de peças defeituosas d pelo total n de peças da amostra, isto é,

$$P = d / n$$

7.5.1- Gráfico de Controle de p – conhecida a fração defeituosa P do processo

O gráfico da fração defeituosa, ou gráfico de p , é construído de acordo com o esquema geral. O intervalo define os limites de controle de p como sendo:

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

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

Para amostras grandes a aproximação normal é satisfatória; a regra prática é estabelecer o valor de n próximo de $10 / p$ e tomar amostras de igual tamanho.

7.5.2- Gráfico de Controle de p – desconhecida a fração defeituosa $\bar{p}$ do processo

Quando a fração defeituosa do processo $\bar{p}$ for desconhecida, sua estimação será feita calculando-se a fração defeituosa média.

$$\bar{\bar{p}} = \frac{\sum d}{\sum n}$$

Para um conjunto de pelo menos $k = 20$ de tamanho n , sendo $n \geq 50$ unidades. A linha média será marcada para esse valor $\bar{p}$, e os limites de controle serão:

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

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

Quando o valor calculado para o LIC for negativo, deve-se adotar o valor $LIC = 0$.

Quando p for pequeno, isto é, menor que 0.10, pode-se, com aproximação, substituir $(1 - \bar{p})$ pela unidade.

Marcados os limites, para cada amostra será calculada a fração defeituosa $p = d/n$, que será marcada no gráfico.

A interpretação do gráfico é a mesma já indicada anteriormente.

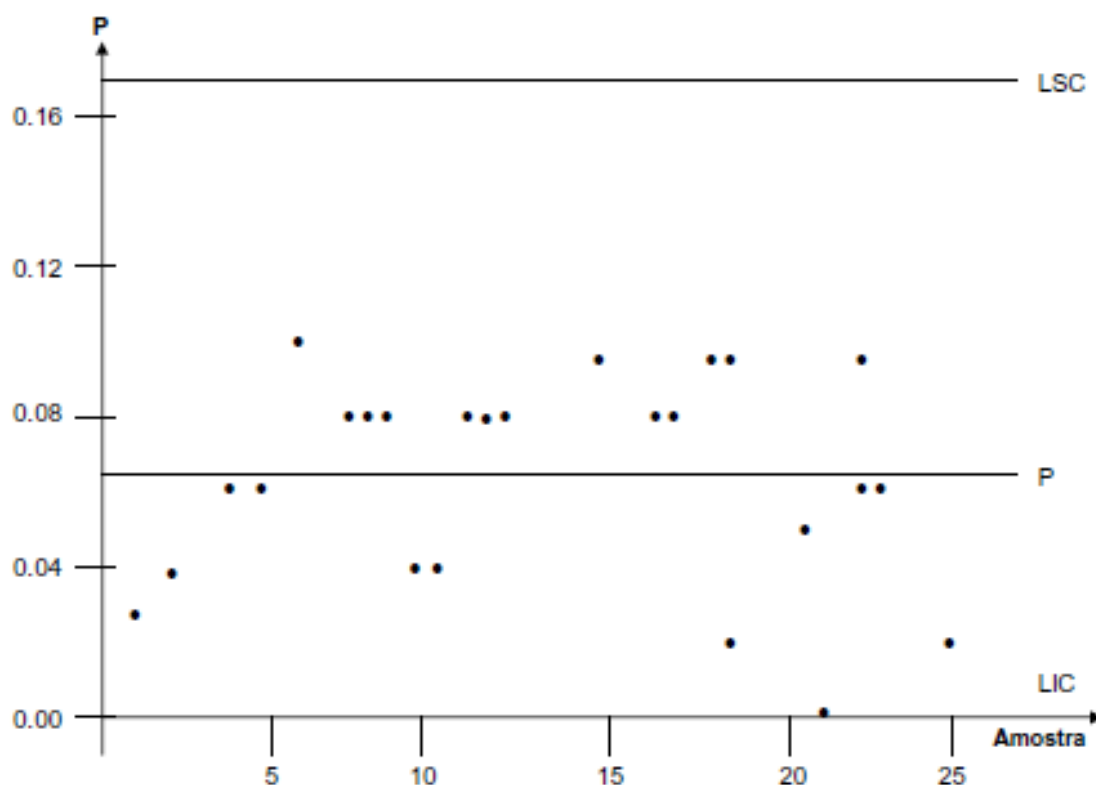


Figura 38 – Gráfico da fração defeituosa p .

7.6- Gráfico do Número Total de Defeituosos – np – Como alternativa do gráfico de p , pode ser utilizado para amostras de igual tamanho n , o gráfico do número total de (itens) defeituosos np .

De fato, o gráfico de np é equivalente ao gráfico de p , fazendo-se apenas a mudança da escala de ordenadas. A linha média é np e os limites de controle são:

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

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

A interpretação do gráfico np é semelhante à do gráfico de p, sendo np o número médio de defeituosos encontrados, no conjunto das K amostras.

7.7- Gráfico de Defeitos por Unidade – u – Nos dois parágrafos anteriores, a atenção esteve dirigida para os itens defeituosos, isto é, para as peças fabricadas em desacordo com as especificações; agora, está orientada para os defeitos nas peças.

Um defeito representa falta de conformidade da unidade do produto com a especificação de um característico de qualidade.

Uma unidade de produto pode apresentar mais de um defeito e, por isso, pode ser exigido o controle do número de defeitos por unidade, em vez de controle de fração defeituosa.

A conveniência torna-se evidente quando se compreende que a unidade do produto pode ser uma unidade de comprimento ou de área, ou mesmo uma peça; então haverá o interesse em conhecer o número de defeitos por metro (ou por mil metros), ou por metro quadrado, ou por chapa.

Evidentemente, seria inadequado apenas considerar nesses casos que a unidade seja perfeita (isto é, sem defeitos ou defeituosa); convirá avaliar a frequência com que ocorrem defeitos em cada unidade.

O número médio de defeitos por unidade, u_j , para a j-ésima amostra de tamanho n, é igual ao número total de defeitos em todas as unidades de amostra dividido pelo número n de unidades da amostra:

$$u_j = \frac{\text{n.º total de defeitos em todas as unidades}}{\text{n.º n de unidades da amostra}} = \frac{C_j}{n_j}$$

O gráfico de u é recomendado quando o produto é composto de várias partes, existindo muitos característicos de qualidade inspecionados por calibres, ensaios de funcionamento ou inspeção visual. A contagem de defeitos se fará somente para defeitos independentes.

Admitida a aproximação normal para o número u , defeitos por u unidade, o intervalo 3-sigma determina os limites de controle

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

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

sendo:

$$u = \frac{\text{n.º total de defeitos em todas as amostras}}{\text{n.º total de unidades em todas as amostras}} = \frac{\sum c_j}{\sum n_j}$$

7.8- Gráfico do Número de Defeitos na Amostra – C – Quando as amostras forem dadas de igual tamanho, isto é, n for constante, é conveniente adotar o gráfico do número de defeitos, C , na amostra. Neste caso, o gráfico é equivalente ao gráfico de u com mudança apenas na escala das ordenadas.

O gráfico do número de defeitos C é adequado quando não exista uma unidade natural do produto, em geral apresentado em rolo ou lençol, e o problema consiste em avaliar a uniformidade de qualidade em determinados comprimentos iguais ou em áreas iguais do produto.

É o caso de fios ou de tecidos. Nota-se que o número n não precisa ser um inteiro; se a unidade convencionada for 30 metros quadrados, constitui, respectivamente, 2.5 ou 3.0 unidades.

A linha central do gráfico é dada por:

$$C = \frac{\text{número total de defeitos em todas as amostras}}{K} = \frac{\sum c}{K}$$

e as linhas de controle são:

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

$$LM = \bar{C}$$

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

Se as amostras forem de tamanhos diferentes, deve-se calcular, primeiramente, a média $\bar{u}$ de defeitos por unidade; em seguida, calculam-se a linha média $\bar{u}$ e os limites de controle:

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

$$LM = \bar{u}$$

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

Separadamente, para cada tamanho n de amostra.

O gráfico de C , número de defeitos, está apresentado na fig. 39. Verifica-se que o processo está sob controle, porque todos os pontos estão dentro dos limites de controle.

Observa-se que no caso acima não existe uma unidade natural de fabricação. A escolha foi de amostras de uma unidade de 30 metros, mas poderia ter sido de amostras de 3 unidades de 10 metros cada uma. O gráfico de número de defeitos não se modificaria. No entanto, o gráfico de defeitos por unidade seria alterado por mudança na escala de ordenadas.

Para a unidade de 10 metros o número de defeitos por unidades seria muito pequeno; isso dificultaria a análise e recomendaria a ampliação da unidade, por exemplo, para 30 metros, com a fusão de cada grupo de 3 unidades de 10 metros.

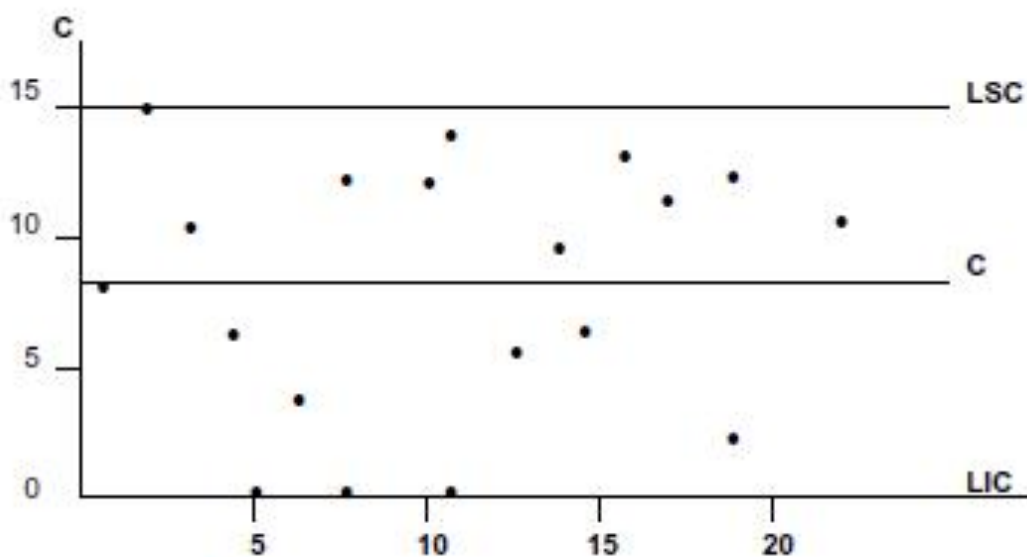


Figura 1 – Gráfico do número de defeitos

RESUMO DOS LIMITES DE ATRIBUTO

<u>Gráfico</u>	<u>Limites</u>	<u>Linha Média</u>
P	$p \pm 3 \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$	p
np	$np \pm 3 \sqrt{np(1-p)}$	np
u	$u \pm \sqrt{u}$	u
C	$C \pm 3\sqrt{?}$	C

8. APQP

O propósito deste capítulo é comunicar um guia comum de Planejamento da Qualidade do Produto e Plano de Controle desenvolvido juntamente pela Chrysler, Ford e General Motors; um guia cujo objetivo é produzir um plano da qualidade do produto, o qual suportará o desenvolvimento de um produto ou serviço que satisfará o cliente.

O termo “produto” será usado através deste capítulo e seu significado é tanto para o produto quanto para o serviço. O termo “fornecedor” será também usado e quer dizer que se aplica para fornecedores quanto para subfornecedores. Alguns dos benefícios esperados com o uso deste guia são:

- ☐ Uma redução na complexidade do planejamento da qualidade do produto para os clientes e fornecedores;
- ☐ Um meio para os fornecedores comunicarem facilmente os requisitos de planejamento da qualidade do produto para os subcontratados.

Este capítulo de referência contém um guia que suporta os requisitos descritos nos requisitos do sistema de qualidade da Chrysler, Ford e General Motors.

Todos os formulários são fornecidos somente como exemplo. O propósito é auxiliar o grupo de planejamento da qualidade do produto em desenvolver formulários de comunicação apropriados para suportar o atendimento aos requisitos do cliente, necessidades e expectativas.

A palavra “deve” (“shall”, “will” e “must”) indica requisito mandatório. A palavra “deveria” (“should”) indica uma proposta preferencial. Fornecedores que escolham outras propostas devem ser capazes de mostrar que sua proposta atende a intenção deste manual. Onde a palavra “tipicamente” (“typical”) e “exemplos” (“examples”) forem usados, alguma(s) das alternativas deveriam ser escolhidas adequadamente para uma mercadoria em particular ou processo.

O Ciclo de Planejamento da Qualidade do Produto é um gráfico de um programa típico. As várias fases estão em sequência para representar o tempo de planejamento para executar as funções descritas. O propósito do Ciclo de Planejamento da Qualidade é enfatizar:

- ☐ **Planejamento Positivo**

O primeiro dos três quartos do ciclo é dedicado para o planejamento da qualidade do produto, que está voltada à validação do produto/processo.

- ☐ **Ato da Implementação**

O último quarto é o estágio onde a importância de avaliar a saída tem duas funções: determinar se os clientes estão satisfeitos, e para suportar a atividade de melhoria contínua.

A representação do planejamento da qualidade do produto como um ciclo, mostra que a atividade de melhoria contínua nunca tem fim e que pode somente ser alcançada pelo ganhar do conhecimento em um programa e aplicando aquele conhecimento adquirido para o próximo programa.

O Planejamento da Qualidade do Produto é um método estruturado para definir e estabelecer os passos necessários para assegurar que um produto satisfaça o cliente;

A meta do planejamento da qualidade do produto é facilitar a comunicação entre todos os envolvidos em assegurar que todos os passos foram completados dentro do prazo.

A efetividade do planejamento da qualidade do produto depende do compromisso da alta gerência da empresa com os esforços requeridos para atingir a satisfação do cliente.

8.1- OBJETIVO

- ☐ Direcionar recursos para satisfazer o cliente;
- ☐ Promover a identificação antecipada de alterações necessárias;
- ☐ Evitar alterações de última hora;
- ☐ Oferecer um produto de qualidade dentro do prazo ao custo mais baixo.

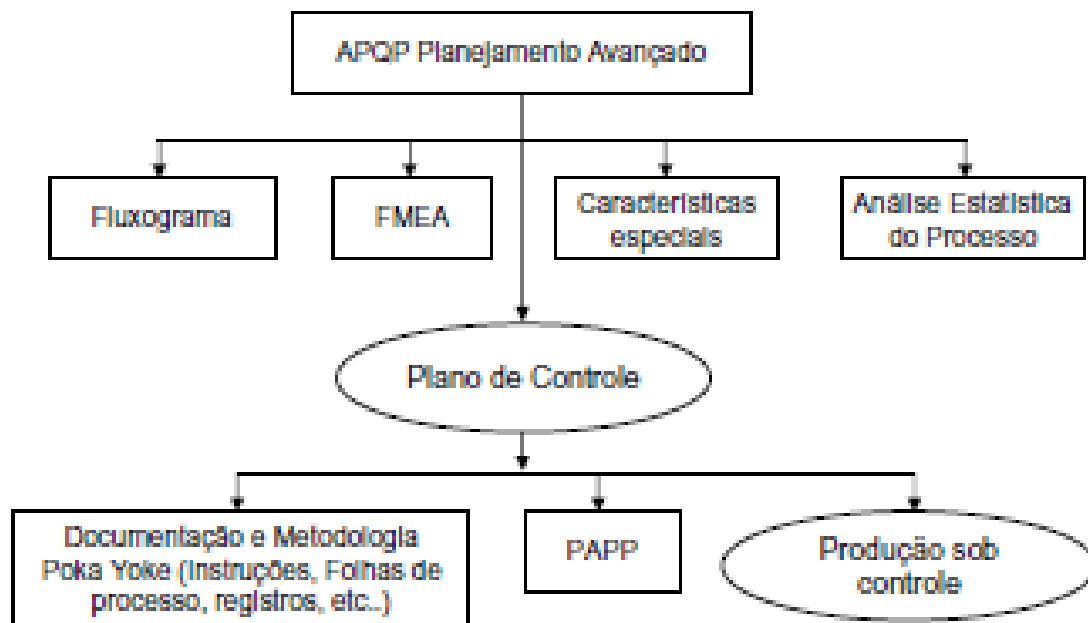
8.2- POR QUE UTILIZAR O APQP?

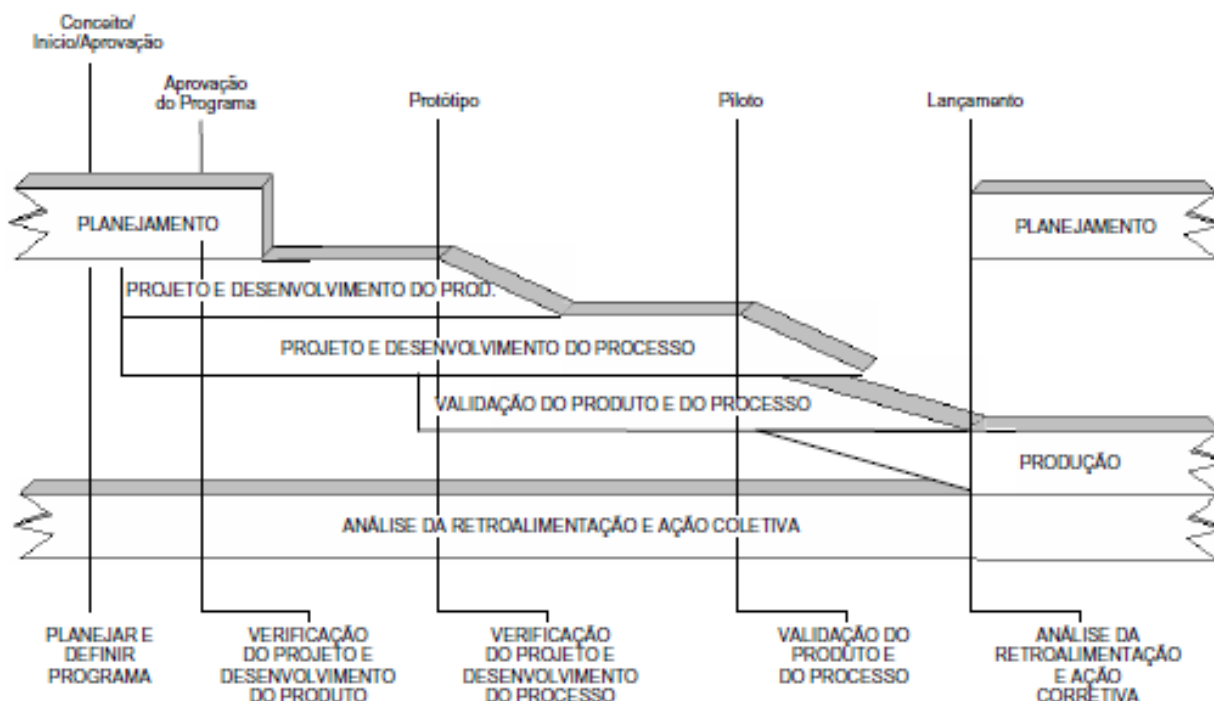
- ☐ Redução da complexidade do planejamento da qualidade do produto para clientes e fornecedores;
- ☐ Maneira facilitada de comunicação dos requisitos do planejamento da qualidade do produto para os subfornecedores;

8.3- ABRANGÊNCIA

A equipe deve se reunir no mínimo para:

- ☐ Escolher um líder de projeto responsável pela supervisão do processo de planejamento. (Em alguns casos pode ser vantajoso fazer um rodízio de liderança do grupo durante o ciclo de planejamento;
- ☐ Definir as funções e responsabilidades de cada área representada;
- ☐ Identificar os clientes – internos e externos;
- ☐ Definir as exigências do cliente;
- ☐ Escolher as disciplinas, indivíduos, e/ou subcontratados que devem se juntar à equipe, i.e., projeto, número de ensaios;
- ☐ Avaliar a viabilidade do projeto exposto, exigências de desempenho e processo de manufatura;
- ☐ Identificar a assistência exigida pela parte cliente;
- ☐ Identificar o processo ou método de documentação.

8.4- FUNDAMENTOS

CRONOGRAMA DE PLANEJAMENTO DA QUALIDADE DO PRODUTO

9. PROCESSO DE APROVAÇÃO DE PEÇAS DE PRODUÇÃO (PAPP)

9.1- INTRODUÇÃO

Propósito

O Processo de Aprovação de Peça de Produção (PAPP) define requisitos genéricos para aprovação de peça de produção, incluindo materiais e material a granel para produção. O propósito do PAPP é determinar se todos os requisitos dos registros de projeto de engenharia do cliente e especificação estão adequadamente entendidos pelo fornecedor e que o processo tem o potencial para produzir produto que consistentemente atenda aos requisitos durante uma corrida de produção normal na proporção cotada para produção.

Aplicabilidade

O PAPP deve aplicar-se aos “sites” do fornecedor interno ou externo de matérias primas, materiais de produção, peças de produção e serviços. Para matérias-primas, o PAPP não é requerido a menos que requerido pelo cliente. Um fornecedor de peças de produção ou serviços de catálogo normalizado deve atender com o PAPP a menos que formalmente dispensado pelo cliente. Ferramental deve ser mantido para itens de catálogo normalizado tanto tempo quando os itens forem oferecidos ou considerados estando disponíveis.

Nota 1

Ver as instruções específicas do cliente na seção II para informação adicional.

Todas as questões sobre o PAPP deveriam ser endereçadas à atividade de aprovação de produção do cliente.

Nota 2

Um cliente pode formalmente dispensar um fornecedor dos requisitos do PAPP. Dispensar para itens aplicáveis serão documentados pelo cliente.

Definições

A palavra “deve” indica requisitos mandatórios. A palavra “deveria” indica um requisito mandatório com alguma flexibilidade permitida no atendimento à metodologia.

Os parágrafos marcados como “NOTA” são guias para o entendimento ou esclarecimentos ao requisito associado. A palavra “deveria” que aparece em uma “NOTA” é somente para guia. O glossário contém informações que deveriam ser usadas para propósitos de atendimento aos requisitos de PAPP.

Seção I

I.1 Generalidades

O fornecedor deve obter aprovação completa da atividade de aprovação do produto do cliente para:

1. uma nova peça ou produto (ex: peça específica, material, ou cor não previamente fornecida para um cliente específico);
2. correção ou discrepância em uma peça submetida previamente;
3. produto modificado por uma alteração de engenharia ou registro de projeto, especificações ou materiais;
4. quaisquer situações requeridas pela Seção I.3.

Nota

Se houver quaisquer questões sobre a necessidade para a aprovação da peça de produção, contate o responsável da atividade de aprovação do cliente.

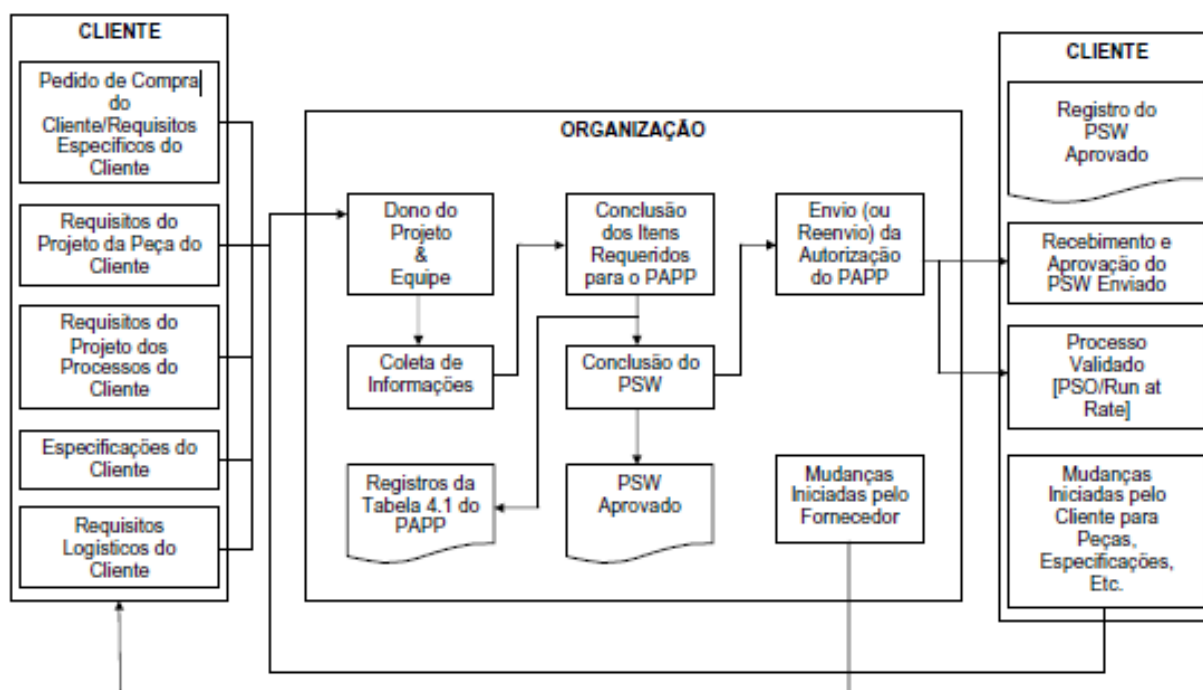
I.2 PAPP – Processes Requirements

I.2.1 Corridas Significativas de Produção

Para peças de produção, produto para PAPP, devem ser tomadas de uma produção significativa. Esta corrida de produção deve ser de uma hora até oito horas de produção, e com a quantidade especificada de produção de um total de no mínimo 300 peças consecutivas, a menos que de outra forma especificada pelo representante autorizado da qualidade do cliente. Esta corrida deve ser manufatura no “site” de produção usando o ferramental, dispositivos de medição, processo, materiais e operadores do ambiente de produção. Peças de cada processo de produção único, ex. linha de montagem duplicada e/ou célula de trabalho, cada posição de uma cavidade múltipla, molde, estampo ou molde, deve ser medido e peças representativas ensaiadas.

Para material a granel: não há um número específico requerido de “peças”.

EXEMPLO DE FLUXOGRAMA DE PROCESSOS DO PPAP



Notas:

1. Atividades mostradas não estarão sempre presentes.
2. Registros podem estar em diversas formas e em diversos locais de armazenamento.

10. MASP

10.1- CONCEITOS GERAIS

- ☐ Problema é o resultado indesejável de um trabalho;
- ☐ Todas as empresas possuem problemas que as privam de obter melhor qualidade e produtividade de seus produtos e serviços;
- ☐ Os problemas geram perdas e afetam a sobrevivência da empresa;
- ☐ Não existem culpados para os problemas da empresa. Existem causas!!
- ☐ A maior parte dos problemas é gerada pelo próprio sistema;
- ☐ Em geral, as causas dos problemas das empresas são provenientes de conhecimentos errôneos e procedimentos incorretos. Entretanto, para discernir entre o que está errado e o que está incorreto é preciso desencadear um processo de averiguação de fatos!!
- ☐ Sintomas da existência de problemas:
- ☐ Baixa produtividade;
- ☐ Baixa qualidade dos produtos e serviços;
- ☐ Menor posição competitiva no mercado;
- ☐ A solução de problemas é baseada em uma seqüência lógica, fundamentada em fatos e dados e tem por objetivo básico localizar a causa fundamental dos problemas!
- ☐ A metodologia é a seqüência lógica para se atingir o objetivo desejado;
- ☐ A ferramenta é o recurso a ser usado na metodologia;
- ☐ Solucionar um problema é melhorar um resultado ruim até um nível razoável!!
- ☐ As causas dos problemas devem ser analisadas levando-se em consideração fatos e dados, e a relação causa e efeito deve ser investigado com bastante imprecisão!!
- ☐ O ataque ao problema deve ser planejado e implantado de maneira a impedir o reaparecimento dos fatores causadores do mesmo!!
- ☐ O processo de solução de problemas deve ser uma prática gerencial, sistemática, documentada e acompanhada periodicamente aos vários níveis da empresa!!

PASSOS PARA A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Método para normalizar a resolução de problemas e não conformidades de itens usando uma linguagem comum para facilitar a implementação de ações e a revisão gerencial.

1º Passo: Dados gerenciais da Não-Conformidade e Informações do Produto

Este campo é utilizado para a descrição da não-conformidade e/ou reclamação do cliente, é utilizado para descrever todas as informações do produto e qual é o tipo de reclamação encontrada. A descrição da não-conformidade e/ou reclamação do cliente têm que ser o mais detalhado possível para que as ações possam ser tomadas de forma objetiva buscando a solução do problema.

1- Descrever o Problema/Não-Conformidade

Especificar o problema do cliente interno/externo, identificando o item e o problema em tamanhos mensuráveis, respondendo às perguntas: "O QUE, ONDE, QUANDO, TAMANHO, etc.?"

No campo evidência objetiva colocar as evidências da não-conformidade como: fotos, relatórios, BO's, etc..

Descrição da Não-Conformidade
Evidência

2º Passo:

2- Usar Participação do Time

Estabelecer um grupo de pessoas com conhecimento do processo/item, tempo alocado e conhecimento das disciplinas técnicas exigidas para resolver o problema e implementar ações corretivas. O grupo tem que ter um líder designado.

Lider responsável:	Area:	Ramal:
Time	Area:	Ramal:

3º Passo

3- Estabelecer Contenção (Disposição Imediata)

Definir e implementar ações de contenção para isolar os efeitos do problema para todos clientes internos/externos até que a ação corretiva seja implementada. Validar a efetividade da ação de contenção.

Nota: ações imediatas servem para isolar o problema e não são definitivas. Estas ações não devem ser consideradas ações corretivas. Verificar a abrangência deste problema, ou seja, se este problema pode afetar ou não outras montagens.

3. Disposição Imediata:					
3.1 - Contenção da Falha			3.2 – Ação Imediata	Responsável	Ponto de Corte
Localização do Estoque	Sim	Não			
Cliente e Peças em Trânsito	☐	☐	☐ Seleção		
Expedição	☐	☐	☐ Retrabalho		
Montagem	☐	☐	☐ Reclassificação		
Almoxarifado de Logística	☐	☐	☐ Sussestamento		
Processos Produtivos	☐	☐	Comentário:		
Controle de Entrada e Fornecedores	☐	☐			
Almoxarifado de Reposição	☐	☐			
Concessionários	☐	☐			

4º Passo

4- Abrangência da Não-Conformidade

Neste campo será marcado todo o produto onde as peças com não-conformidade possam estar instaladas e também será determinado o responsável pela determinação da abrangência da não-conformidade e os respectivos pontos de cortes para solução dos problemas.

4. Abrangência			
Descrição	Responsável	Prazo	Ponto de Corte

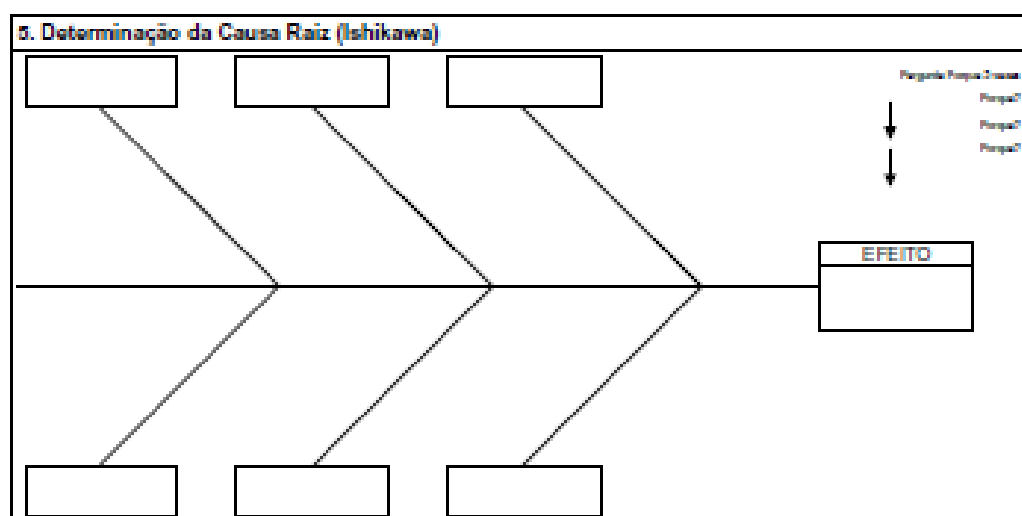
5º Passo

5- Procurar e Verificar a Causa Raiz

Identificar a causa raiz da ocorrência e o envio ao cliente de peças com problemas, explicar porque aconteceu e se este defeito foi detectado internamente ou no cliente.

Para esta verificação será utilizada algumas Ferramentas da Qualidade, como: *Brainstorming*, *5 Porquês*, *Diagrama de Ishikawa*, *Gráfico de Controle*, *Diagrama de Pareto*.

Exemplo:



Determinação da Causa

Alterações / Modificações no Sistema

- | | |
|--|--|
| ☐ Diagrama de Fluxo | ☐ Plano de Inspeção |
| ☐ FMEA | ☐ Desenho Estrutura Produto |
| ☐ Plano de Controle | ☐ CEP |
| ☐ Roteiro de Fabricação | ☐ Procedimento/Instruções |
| ☐ Outros (Especificar) | |

6º Passo

6- Definir a Ação Corretiva

Selecionar a ação corretiva que resolverá o problema para o cliente e que não causará efeitos colaterais indesejáveis, utilizando metodologia multidisciplinar. Por meio de testes, confirmar que a ação corretiva selecionada demonstra o que é pretendido e que a não-conformidade será solucionada.

Plano de Ação (4W)					
Item	O que	Quando	Quem	Porque	PDCA Status



Definição da Atividade
Tempo e Responsabilidade



Atividade Realizada
com Atenção



Atividade Realizada e
Revisada pelo Responsável



Atividade Realizada com Sucesso
Sem Sucesso Planejar Novamente

7º Passo

7- Verificar a Implementação da Ação

Responsável pela abertura do relatório de BP, verifica se as ações corretivas tomadas foram eficazes para que o problema que causou a não-conformidade não volte a ocorrer.

7. Implementação da Ação	☐ SIM	☐ NÃO	Data:
Comentário:			Nova Data:

8º Passo
8- Acompanhamento da Eficácia

Estabelecer um plano para definir medições contínuas que assegurem que a causa raiz foi eliminada. Analisar o indicador selecionado em longo prazo para confirmar de forma mensurável (validar) que a ação corretiva selecionada demonstra o que é pretendido e que o problema não apresentou reincidência.

8. Acompanhamento da Eficácia	☐ SIM	☐ NÃO	Prazo:
Comentário:			

8.1 - Sintetizar a Prevenção de Problemas

Modificar os sistemas necessários, práticas e procedimentos para prevenir a repetição de todos os problemas e não-conformidades semelhantes. Reconhecer os esforços coletivos da equipe. Continuar analisando a causa raiz e resolução.

8. Acompanhamento da Eficácia	☐ SIM	☐ NÃO	Prazo:
Comentário:			

8.2 - Realizar o Fechamento do Relatório

Realizar o fechamento do Relatório de 8 Passos depois de todos os passos serem apresentados e revisados e é necessário a assinatura do Líder Responsável.

8.2 Fechamento

Líder Responsável:	Data:
Qualidade:	Data:

11. MSA: Measurement System Analysis => Análises do Sistema de Medição

11. MSA: Measurement System Analysis => Análises do Sistema de Medição

É parte da sistemática usada para garantir o fornecimento de produtos com qualidade, solicitado pelas normas QS 9000 e ISSO TS 16949, quanto a sua medição. A demonstração e aplicação deve ser apresentada no PAPP e APQP.

Mensagem:

“Meça o que for mensurável, e torne mensurável o que não o for”.- Galileu Galilei (1564 – 1642).

11.1- Introdução

Qualidade dos Dados da Medida

A qualidade dos dados da medida está relacionada a propriedades estatísticas de múltiplas medidas obtidas por um sistema de medição operando sob condições estáveis.

☐ Valor de Referência – Um valor acordado que serve como referência para comparação. O valor de referência é importante para entender a veracidade de nossas medidas. Um valor de referência para uma peça pode ser determinado sob condições de laboratório ou usando um instrumento mais preciso para estabelecer uma medida verdadeira. Outros termos para valor de referência:

- ☐ Valor de referência aceito;
- ☐ Valor convencional;
- ☐ Valor designado;
- ☐ Valor aceito;
- ☐ Valor real convencional;
- ☐ Melhor valor estimado;
- ☐ Medida mestra.
- ☐ Se as medidas estiverem “próximas” a um valor padrão para uma característica, então a qualidade do dado é dita “alta”.
- ☐ Se as medidas estiverem “longe” de um valor padrão para uma característica, então a qualidade do dado é dita “baixa”.



www.cursonobre.com.br