



# Controle Estatístico de Processos

**CEP 2**

**Prof. Dr. Marcelo Tavares**

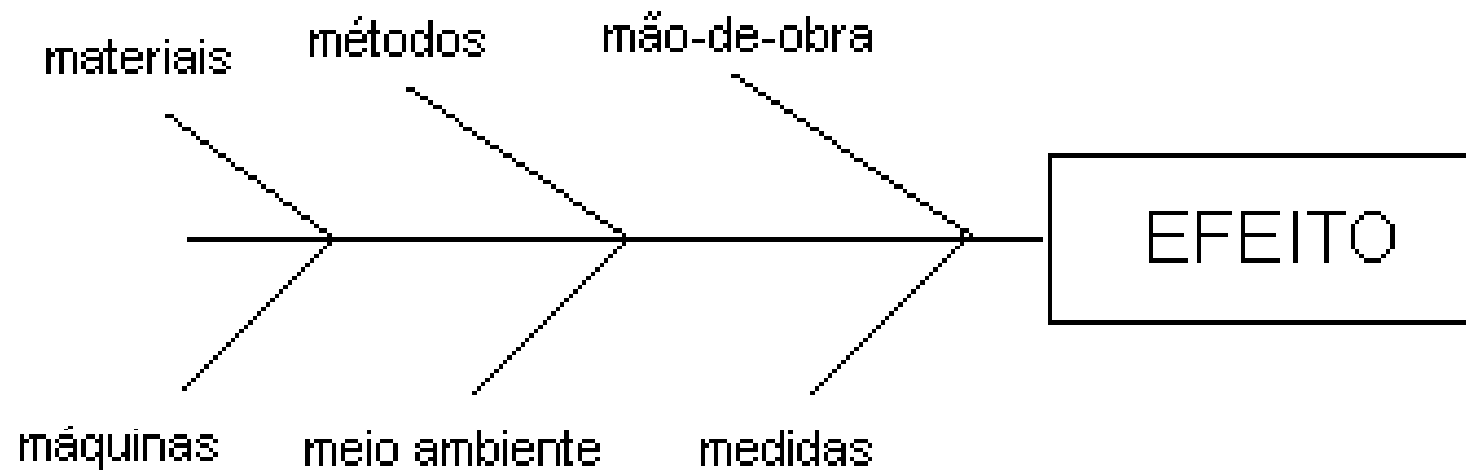


# Conceitos de Controle por Detecção e Controle por Prevenção

- Prevenção - ação imediata
- Detecção - ação após o fato.



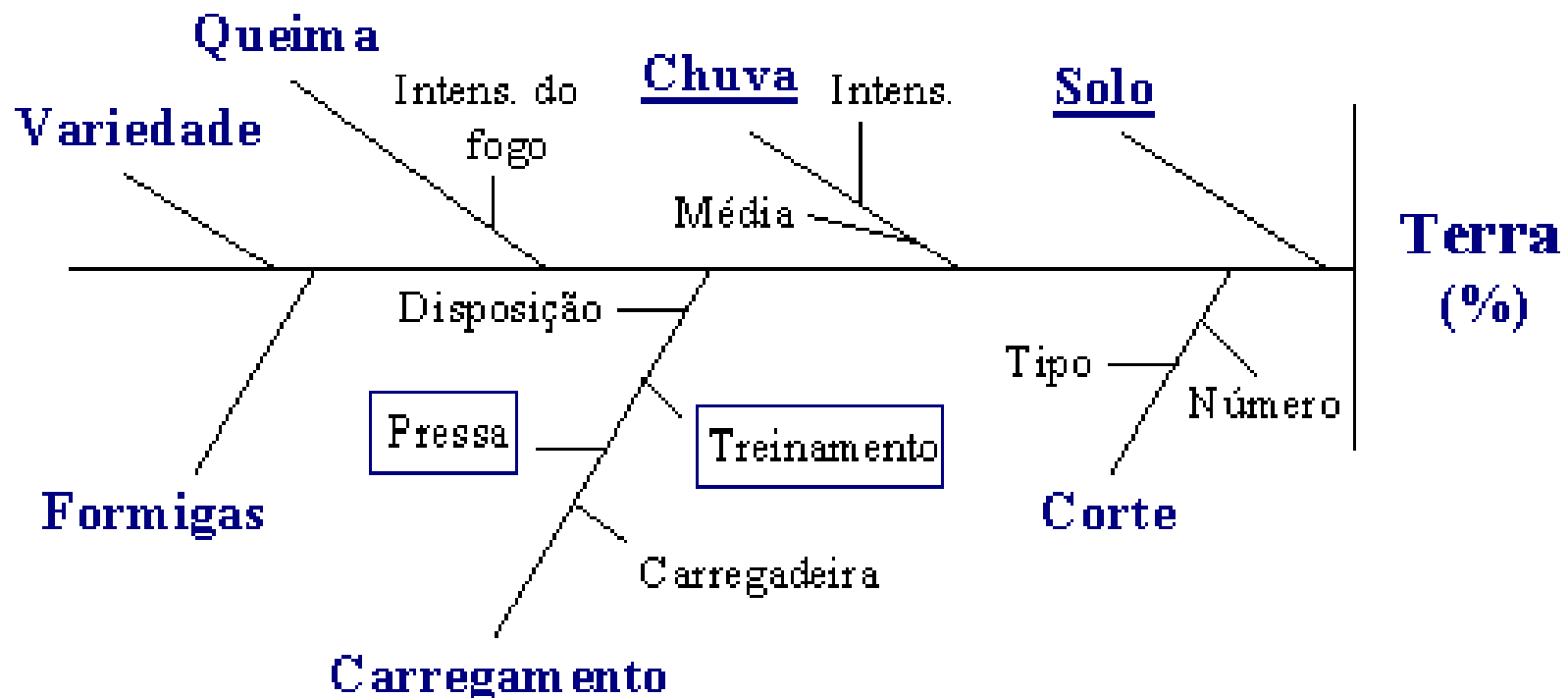
# Diagramas de causa e efeito



Usando o 6M

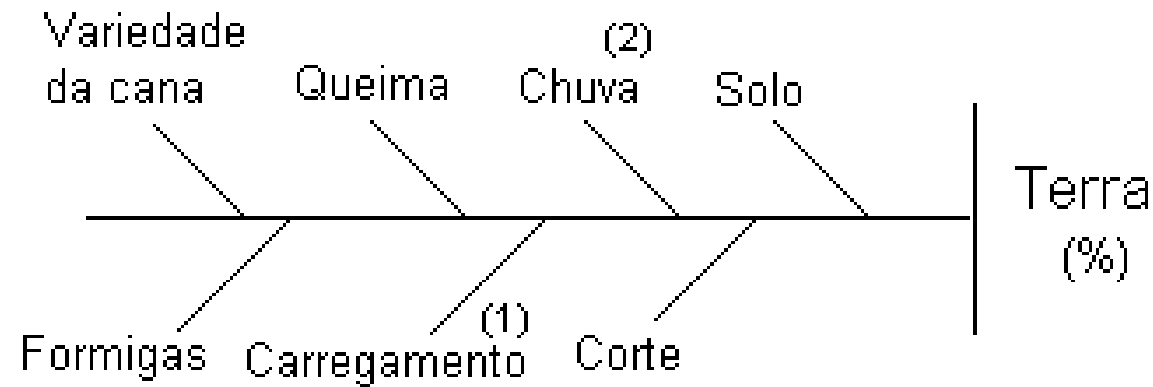


**Exemplo:** Programa de melhoria da qualidade para matéria-prima na indústria sucroalcooleira (Sarriés, 1997) Definição das causas do aumento da quantidade de terra aderida na cana-de-açúcar que é levada para a indústria (fonte: [www.esalq.usp.br](http://www.esalq.usp.br))

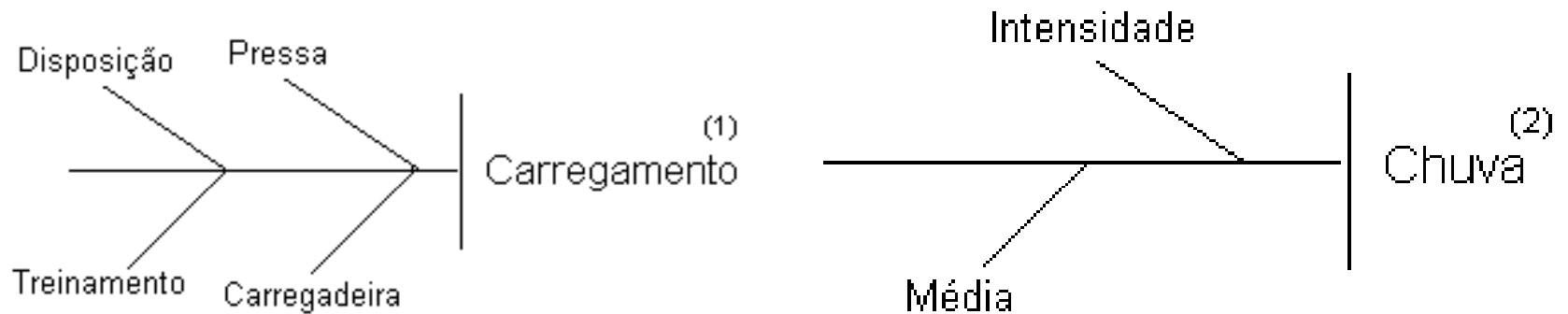




## Diagrama simplificado



## Diagramas secundários





## Estratificação por meio do diagrama de Ishikawa

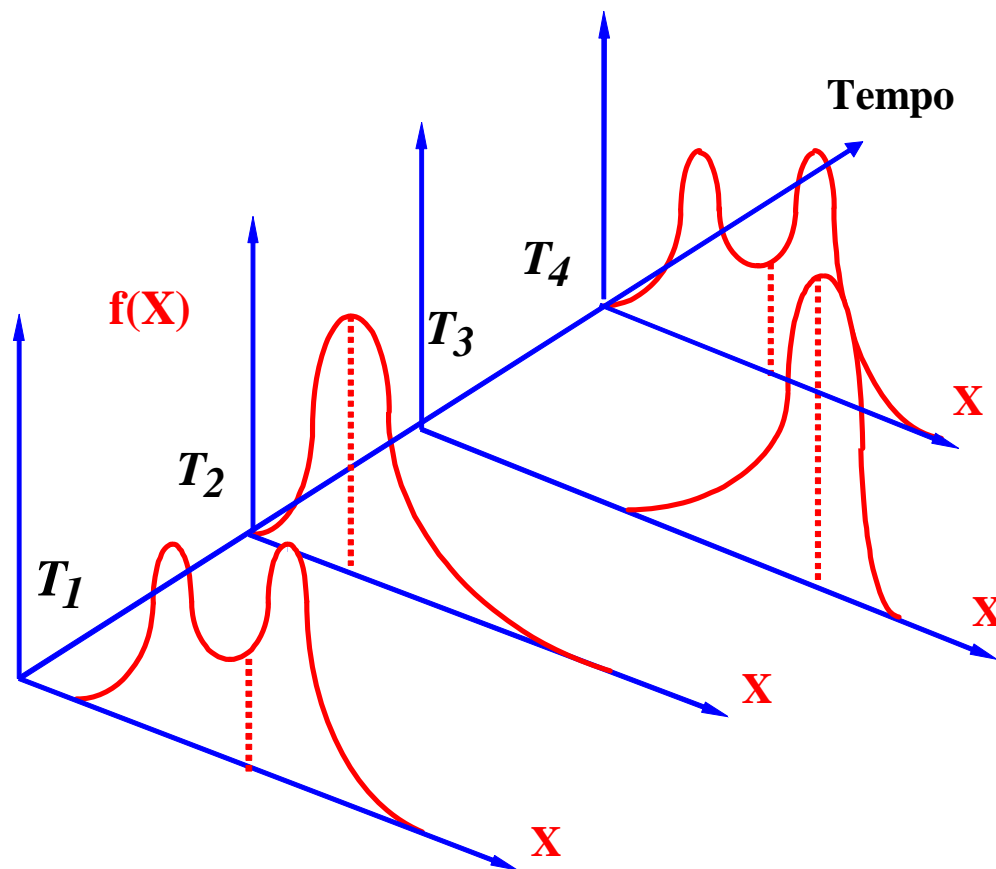
- Desdobramento do sistema  $\Rightarrow$  itens de controle em situações homogêneas
- Permite detectar problemas com maior sensibilidade
- Estratificação no tipo de solo

**Estrato A: solo arenoso seco** = condição de baixa quantidade de terra aderida à cana-de-açúcar.

**Estrato B: solo argiloso úmido** = condição de alta quantidade de terra aderida à cana-de-açúcar



Exemplo:



**Distribuição do Volume dos Saquinhos de Leite ao Longo do Tempo  
(processo instável)**

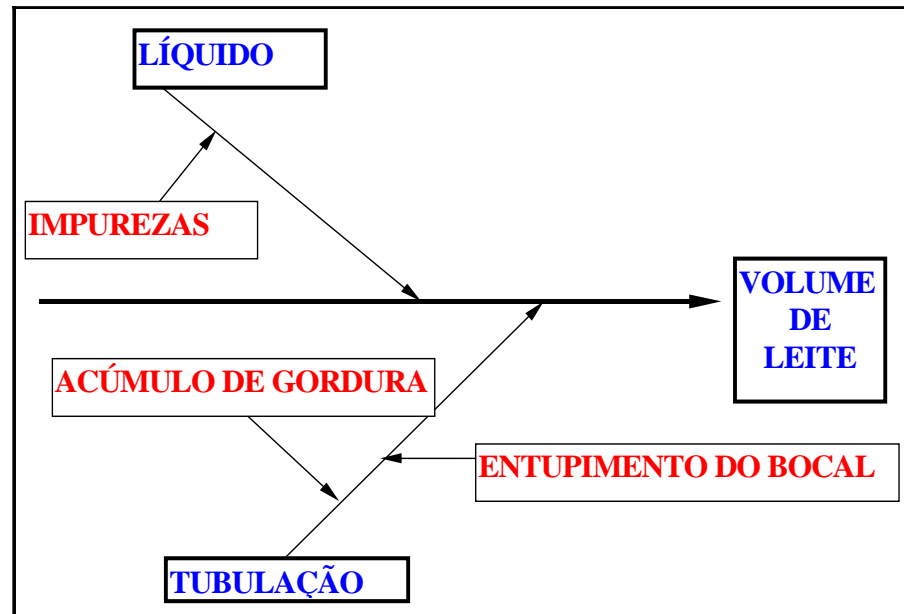


Diagrama de Causa e Efeito

(causas especiais que afetam o volume de leite)

### Causas Especiais e Medidas Corretivas/Preventivas

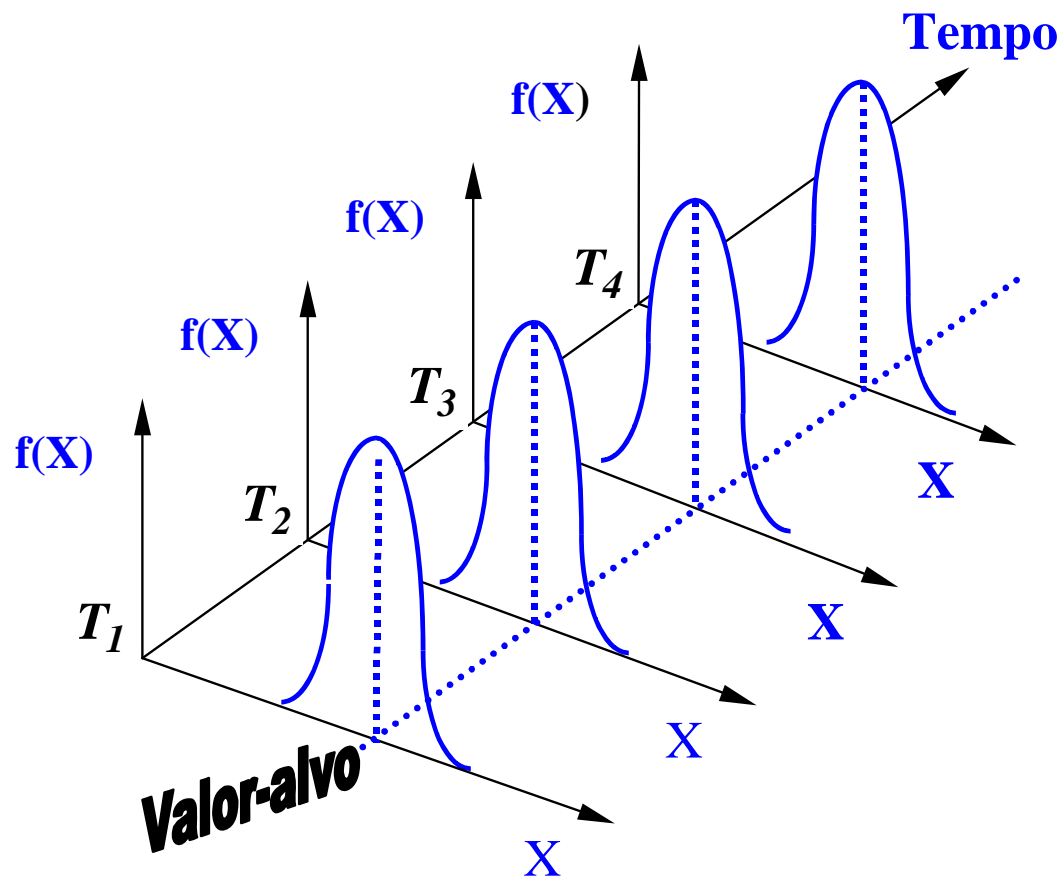
<i>Causa especial</i>	<i>Medida corretiva/preventiva</i>
<b>Gordura na tubulação</b> <b>Entupimento do bocal</b> <b>Impurezas no leite</b>	Limpeza mensal da tubulação Troca semanal do bocal Utilização de filtros



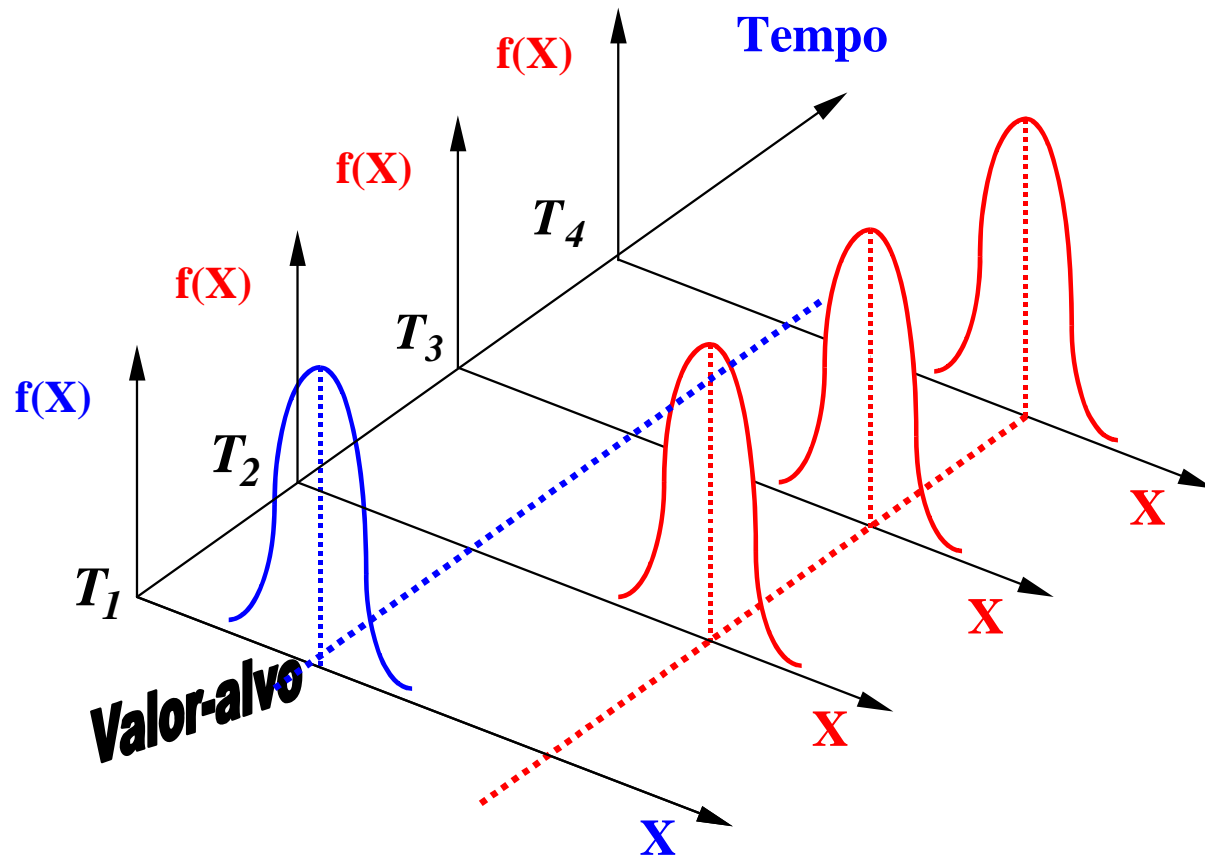
# Gráficos de controle

Vantagens =>

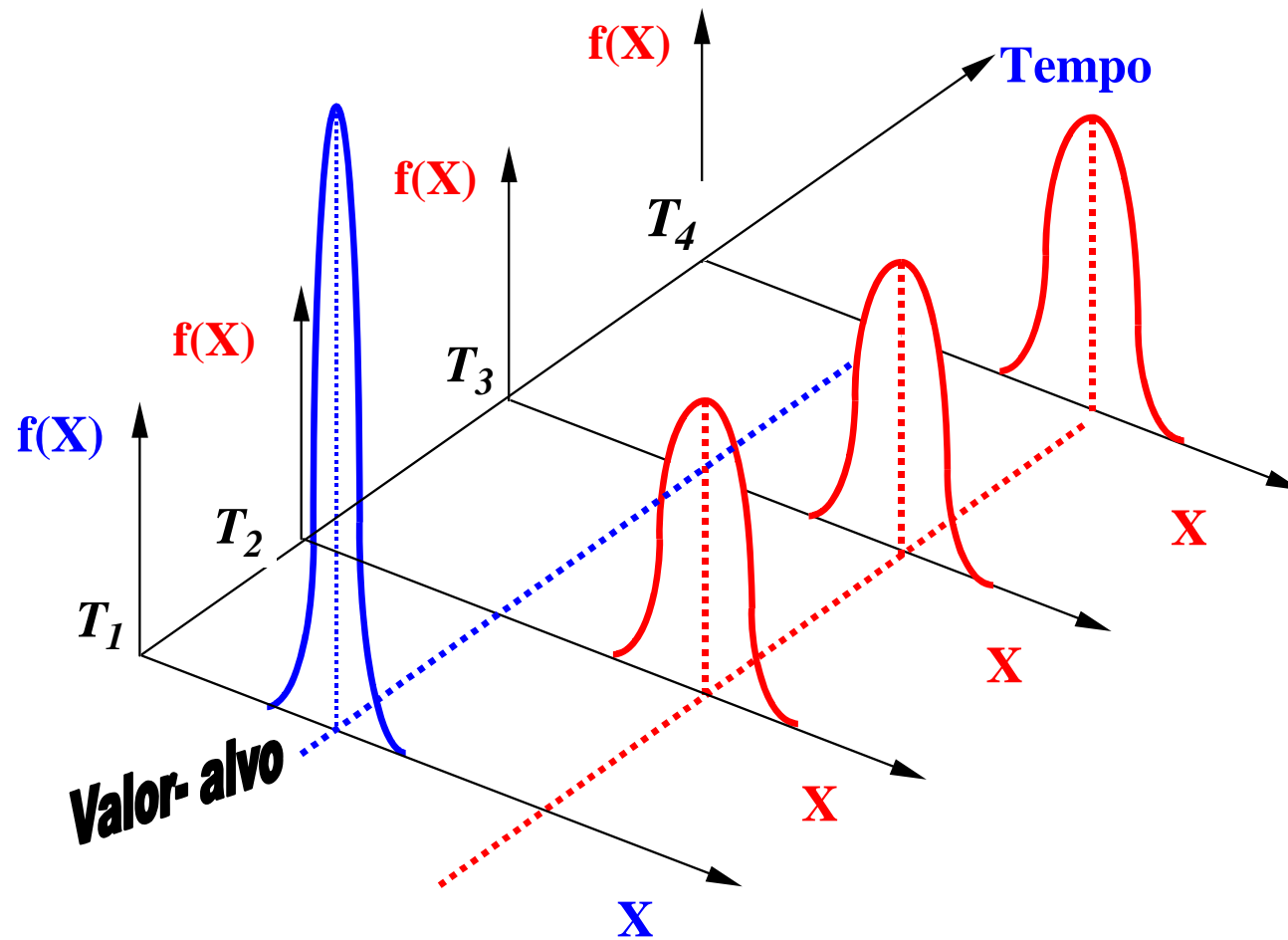
- Avaliações periódicos do desempenho do setor produtivo
- Comparações da qualidade de produtos de diferentes setores
- Motivação do pessoal envolvido na produção



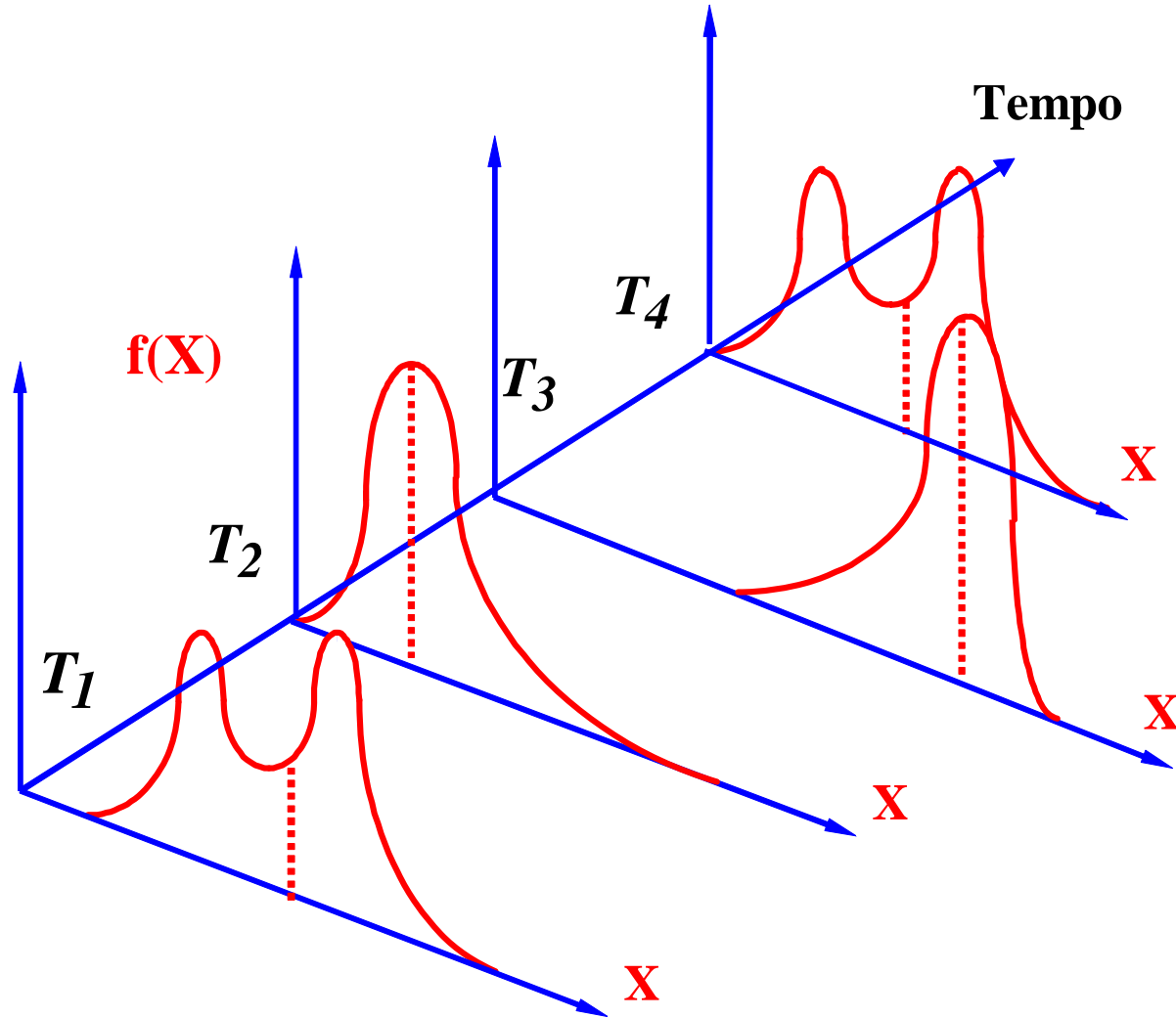
Processo Isento de Causas Especiais



**Causa Especial Altera a Média do Processo**



**Causa Especial Altera a Média e Aumenta a Variabilidade do Processo**

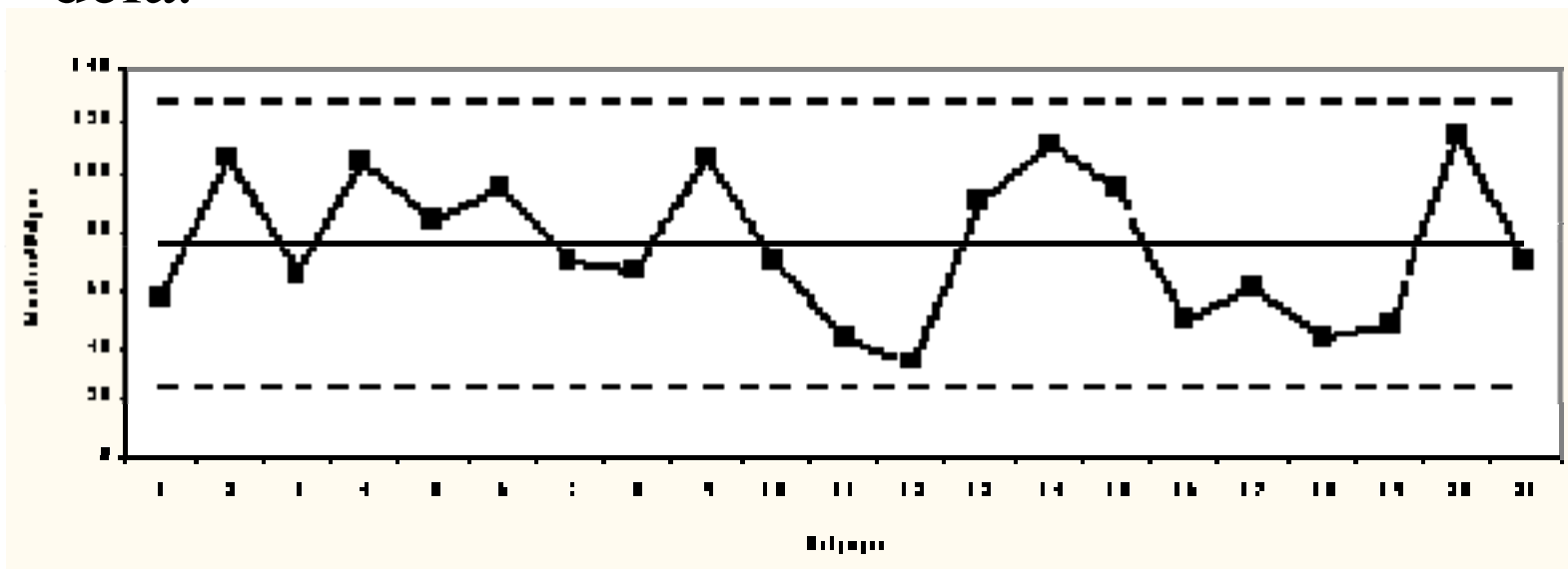




# Interpretação de gráficos de controle

## *Processo sob controle estatístico:*

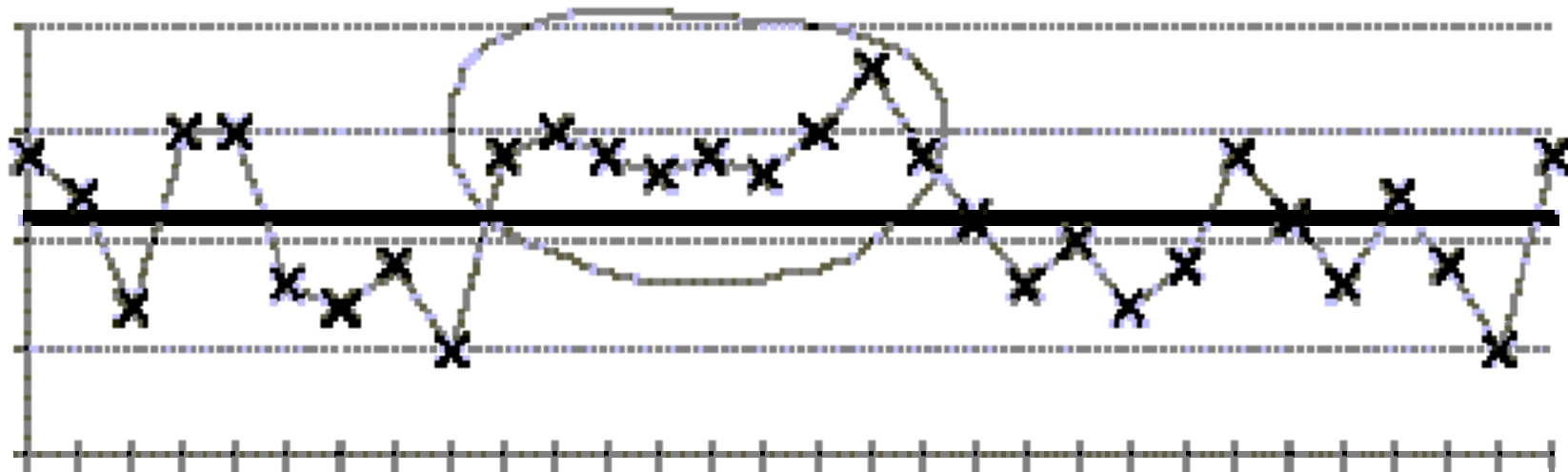
Todos os pontos estão entre os limites de controle superior e inferior e não seguem qualquer padrão especial. Ocorre mesmo número pontos acima e abaixo da reta central e a maioria estão próximos dela.





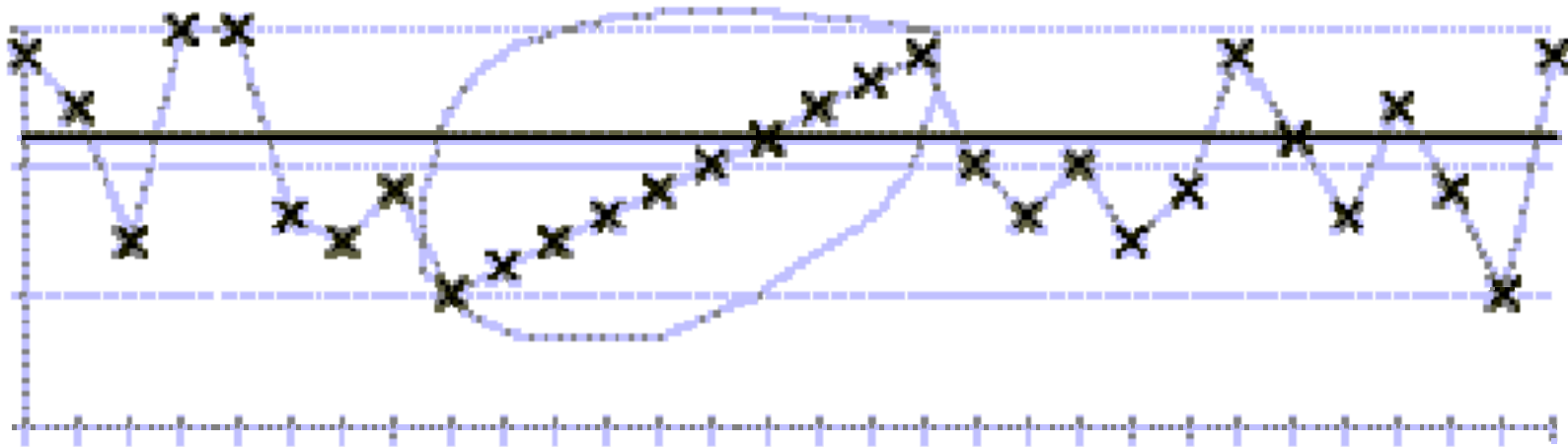
## *Processo fora de controle estatístico*

1. Um ou mais pontos localizam-se além dos limites de controle superior e inferior
2. Quando 6 a 8 pontos estão acima ou abaixo da reta da média, indica mudança na média



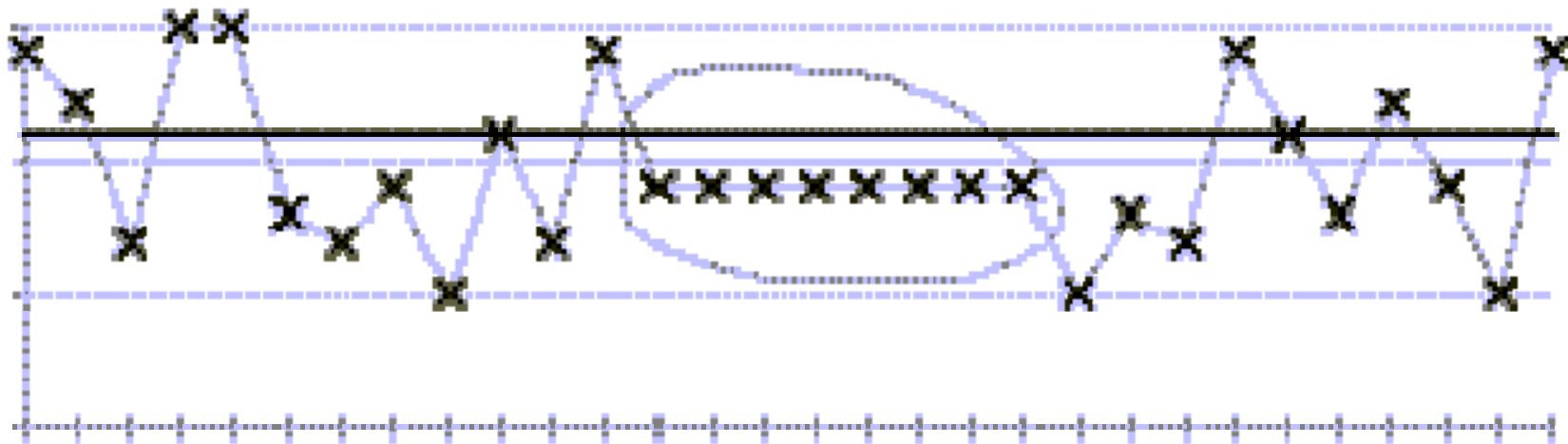


3. Uma seqüência, crescente ou decrescente, de seis ou mais pontos indicando tendência



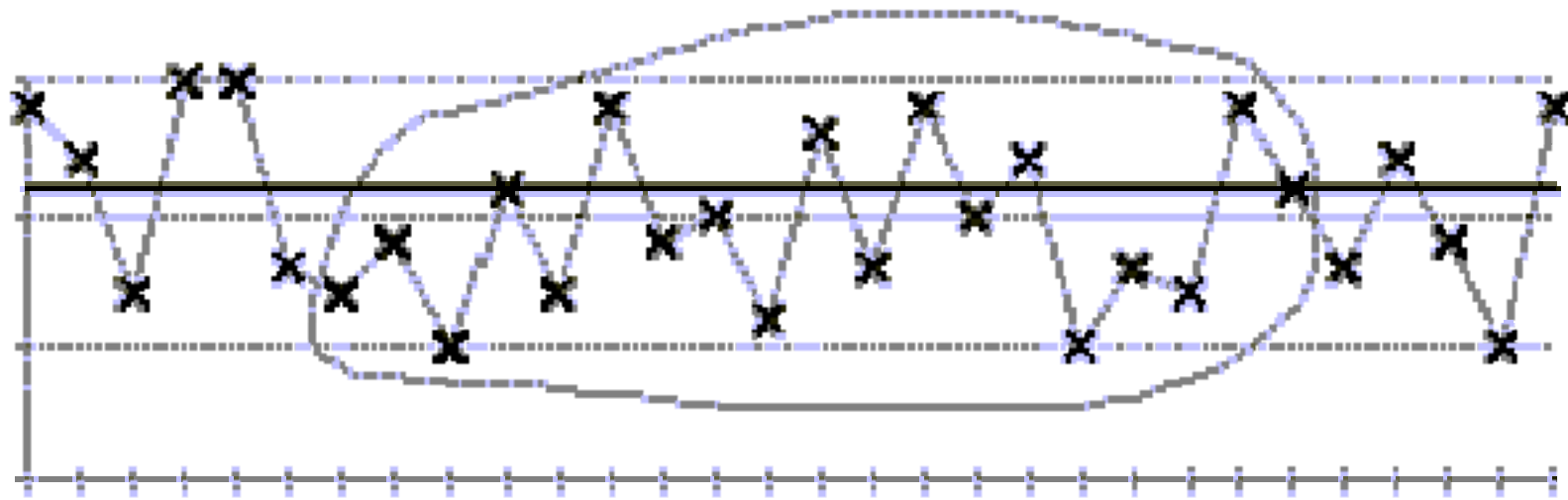


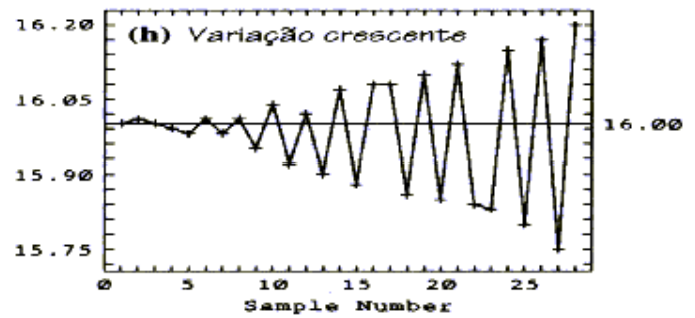
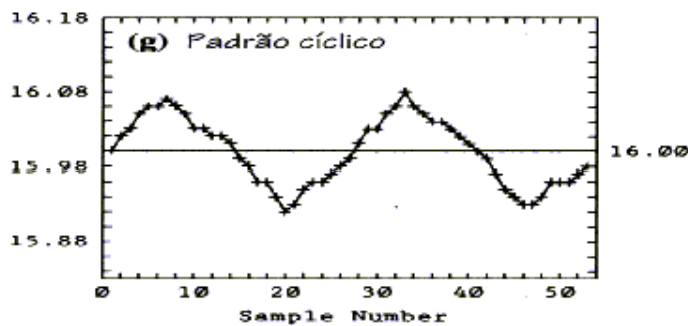
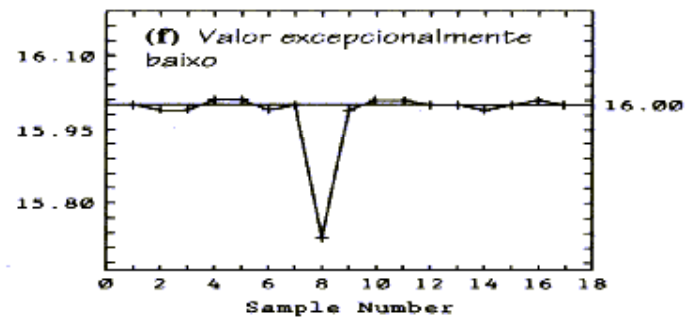
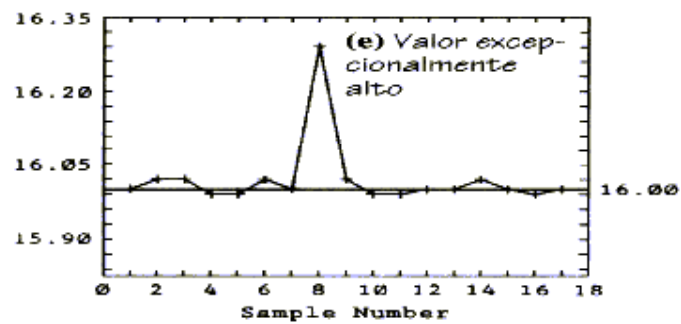
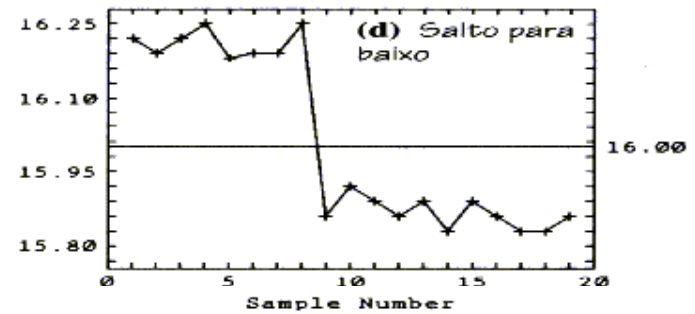
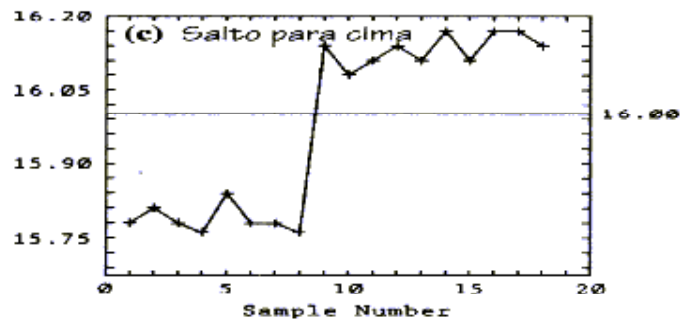
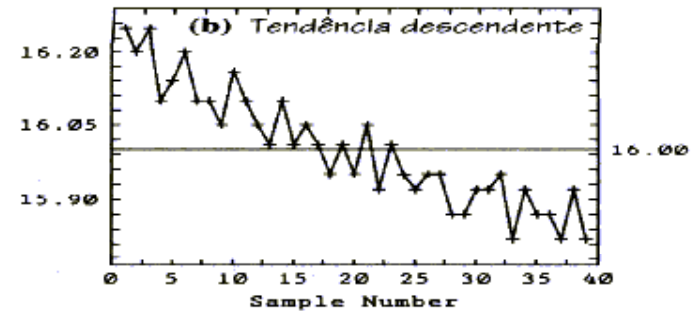
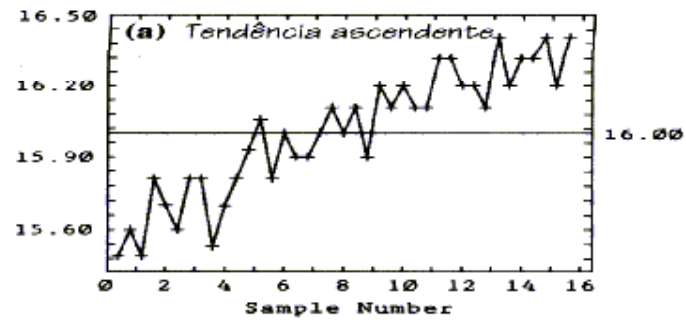
4. Uma seqüência de seis ou mais pontos de mesmo valor indica arredondamento forçado ou deficiência dos instrumentos de medição





5. Uma seqüência de 14 ou mais pontos alternando-se acima e abaixo da reta da média indica discrepância de medidas ou medição “viciada”







# Como criar um gráfico de controle no Excel

1º passo: criar arquivo excel com as seguintes colunas

**Variável LSC LIC Media**

2º passo: acionar assistente gráfico

3º passo: escolher gráfico linhas

4º passo: selecionar área com os valores

5º passo: concluir



# Gráfico de controle para atributos

## 1) Gráfico de controle para a fração defeituosa

Chamado de gráfico p

Cálculo da proporção de defeitos

$$p = \frac{\sum d_i}{\sum n_i}$$

sendo

$n_i$  o tamanho da amostra

$d_i$  o número observado de itens defeituosos.



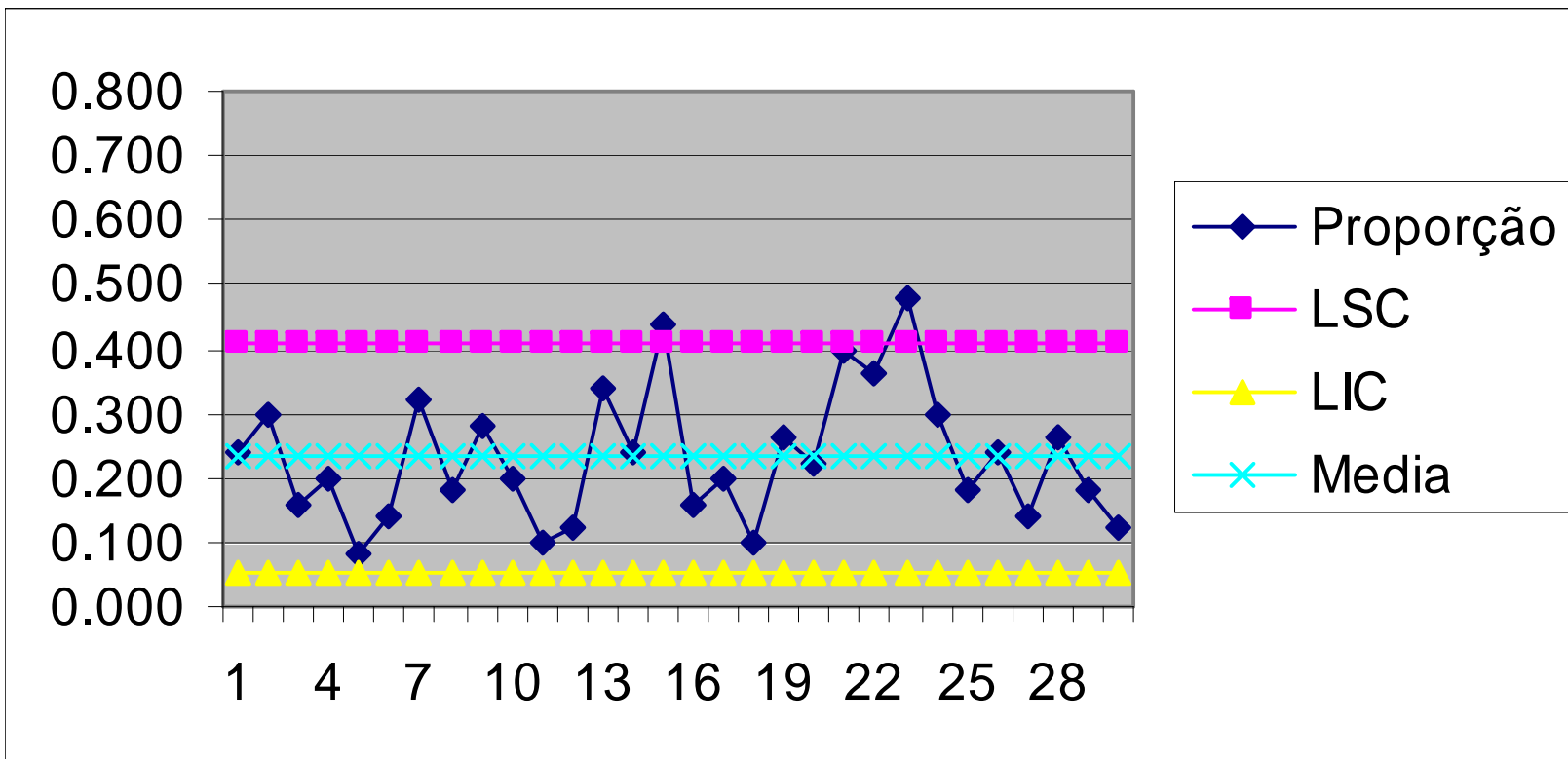
Limites de controle =>

$$\bar{p} \pm 3 \cdot \sqrt{\left( \frac{(\bar{p}(1 - \bar{p}))}{n_i} \right)}$$

**Exemplo:** Em um processo de enchimento de latas, foram selecionadas 30 amostras com 50 latas cada, tomadas de produções diárias, obtendo-se os seguintes números de latas com vazamento, para as sucessivas amostras:

12, 15, 8, 10, 4, 7, 16, 9, 14, 10, 5, 6, 17, 12, 22, 8, 10, 5, 13, 11, 11, 20, 18, 24, 15, 9, 12, 7, 13, 9, 6

**Estabelecer um gráfico e verificar se o processo está sob controle**





# Outro exemplo

## Número de Clientes Insatisfeitos com a Comida

Dia da Pesquisa	Número de Clientes Insatisfeitos	Dia	NCI	Dia	NCI	Dia	NCI
1	2	9	0	17	5	25	0
2	0	10	3	18	3	26	2
3	2	11	2	19	3	27	2
4	0	12	2	20	4	28	1
5	5	13	1	21	0	29	3
6	4	14	2	22	2	30	1
7	3	15	4	23	3	<b>subtotal</b>	<b>9</b>
8	0	16	1	24	0	<b>total</b>	<b>60</b>
<b>subtotal</b>	<b>16</b>		<b>15</b>		<b>20</b>	<b>clientes pesquisados:</b>	<b>6000</b>

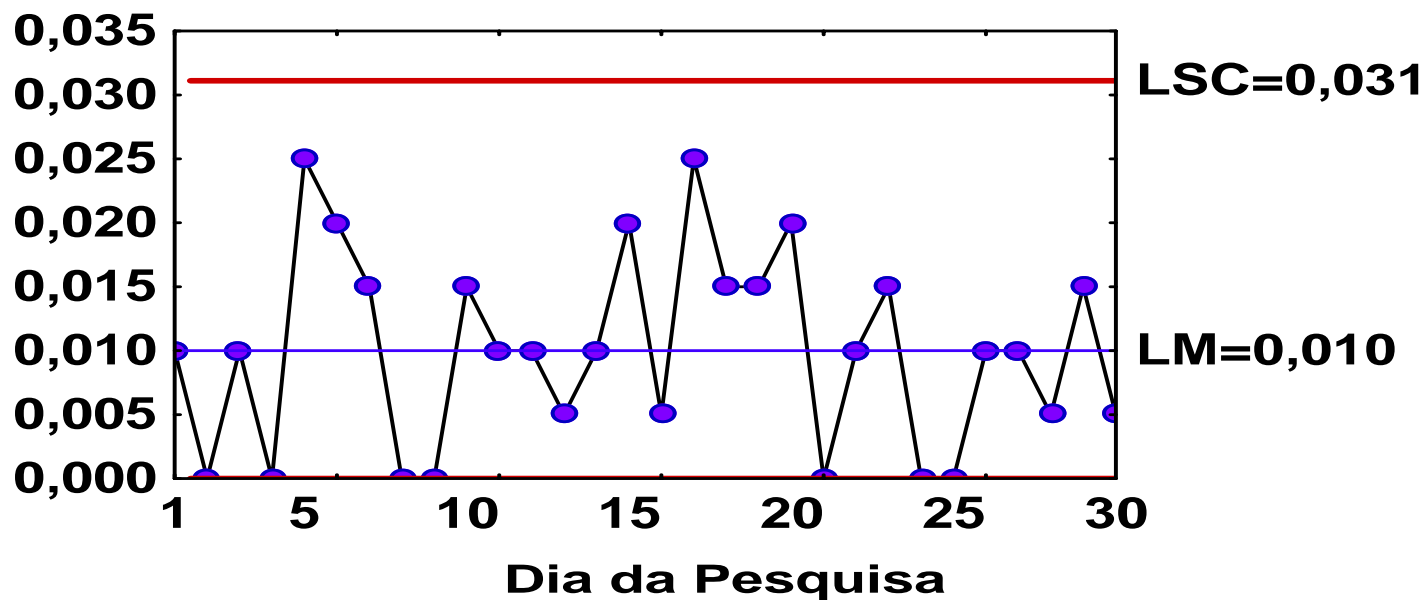


$$LSC_p = \bar{p} + 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n} =$$

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

$$LM_p = \bar{p} =$$

Proporção de Clientes Insatisfeitos com a Comida



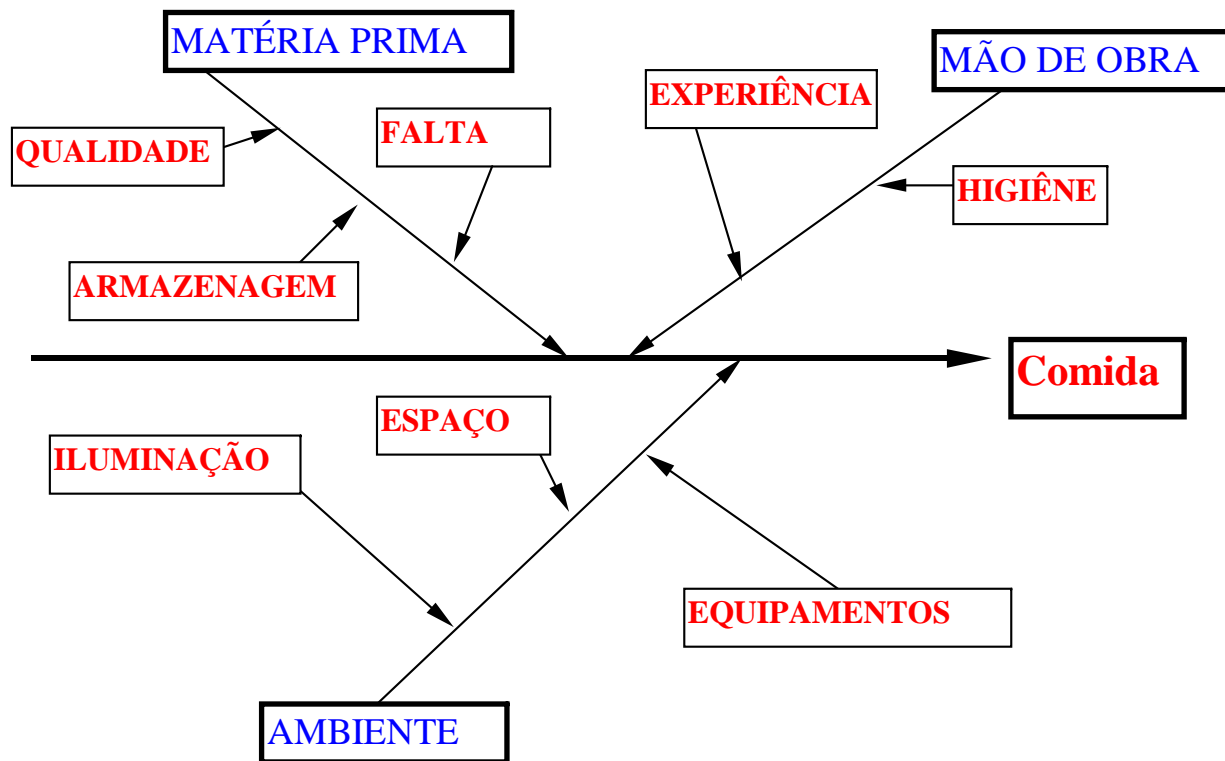


Diagrama de Causa e Efeito- Restaurante Comilão - Quesito Comida



## Lista de Verificação

<b>Causa Especial</b>	<b>Medida de Prevenção</b>
<b>Surgimento de insetos</b>	Desinsetização periódica
<b>Falta de qualidade na matéria prima</b>	Auditoria nos fornecedores
<b>Conflitos internos</b>	Treinamento voltado para o trabalho em equipe



## 2) Gráfico p com amostras de tamanhos variáveis

Tamanhos de amostras diferentes  $\Rightarrow$  induzir a erros

Trabalhar com frações defeituosas em unidades de desvios padrão amostrais

Limites serão dados por  $-3$  e  $+3$

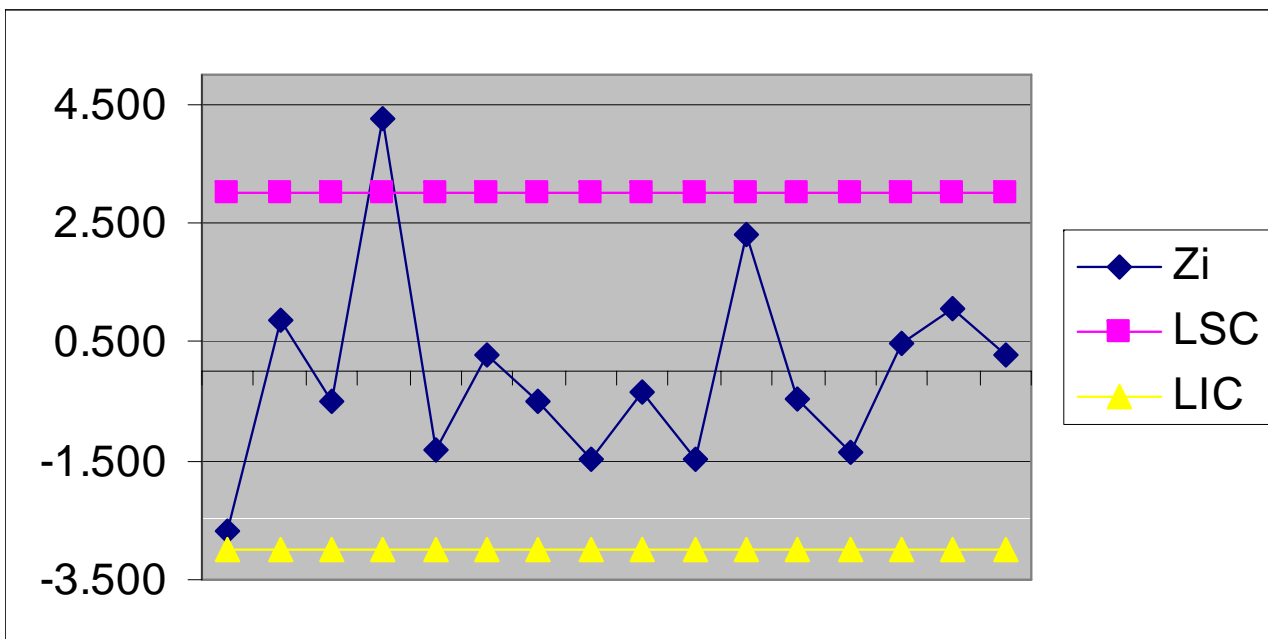
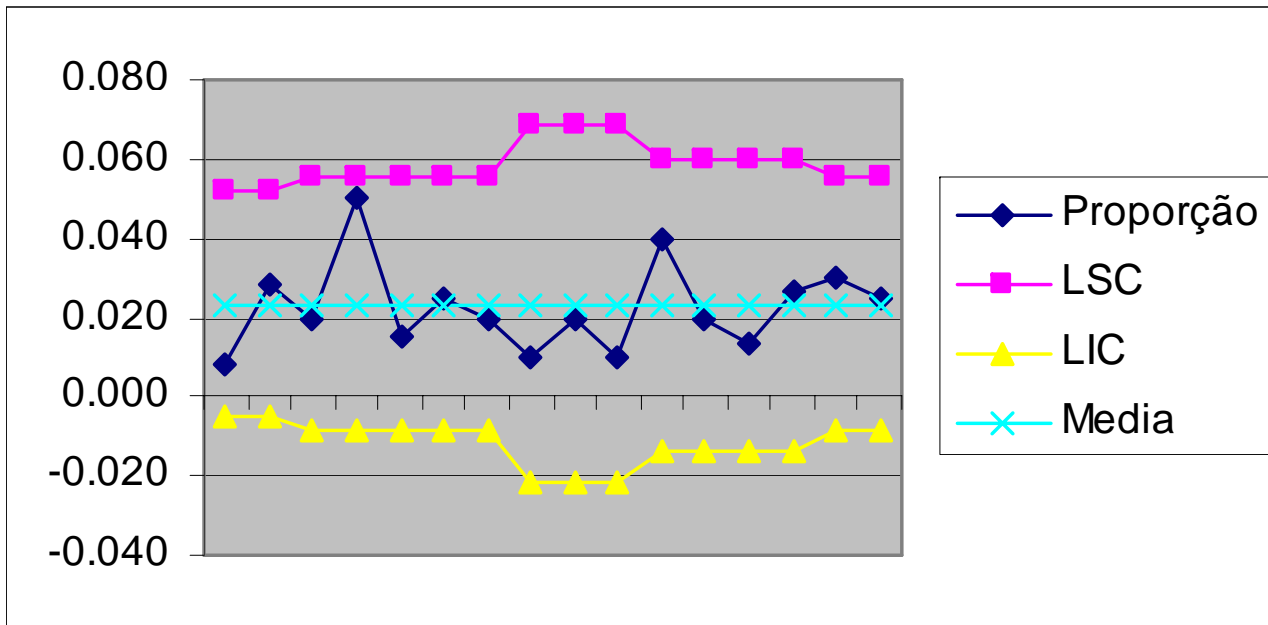
Usar valor médio do tamanho das amostras

Exemplo





Amostra	Tamanho amostra	Numero def	Proporção	LSC	LIC	Media	Zi	LSC	LIC
1	250	2	0.008	0.052	-0.005	0.023	-2.700	3	-3
2	250	7	0.028	0.052	-0.005	0.023	0.849	3	-3
3	200	4	0.020	0.055	-0.009	0.023	-0.510	3	-3
4	200	10	0.050	0.055	-0.009	0.023	4.252	3	-3
5	200	3	0.015	0.055	-0.009	0.023	-1.304	3	-3
6	200	5	0.025	0.055	-0.009	0.023	0.283	3	-3
7	200	4	0.020	0.055	-0.009	0.023	-0.510	3	-3
8	100	1	0.010	0.068	-0.022	0.023	-1.483	3	-3
9	100	2	0.020	0.068	-0.022	0.023	-0.361	3	-3
10	100	1	0.010	0.068	-0.022	0.023	-1.483	3	-3
11	150	6	0.040	0.060	-0.014	0.023	2.308	3	-3
12	150	3	0.020	0.060	-0.014	0.023	-0.442	3	-3
13	150	2	0.013	0.060	-0.014	0.023	-1.358	3	-3
14	150	4	0.027	0.060	-0.014	0.023	0.475	3	-3
15	200	6	0.030	0.055	-0.009	0.023	1.077	3	-3
16	200	5	0.025	0.055	-0.009	0.023	0.283	3	-3
Total	2800	65							





Dados referentes a linha de moldagem de machos em areia, onde se observou a porcentagem de machos defeituosos

Montar o gráfico de controle p

Data	n	pn	p
3	1244	19	0.015
4	1058	15	0.014
5	1225	13	0.011
6	968	8	0.008
7	1352	15	0.011
10	392	10	0.026
11	1401	16	0.011
12	1190	14	0.012
13	804	13	0.016
14	1376	14	0.010
17	1028	10	0.010
18	2306	9	0.004
19	1202	13	0.011
20	995	15	0.015
21	1184	24	0.020
24	542	18	0.033
25	1187	21	0.018
26	1305	9	0.007
27	1216	13	0.011
28	1721	19	0.011



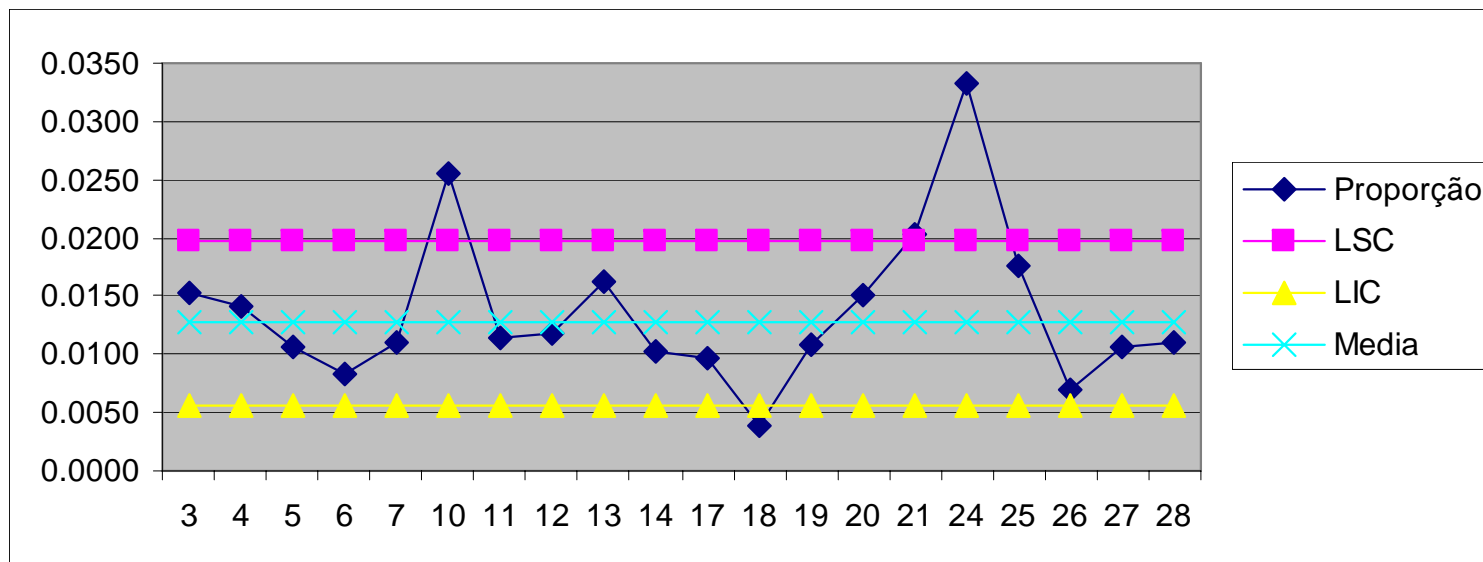
Amostra	Tamanho amostra	Numero def	Proporção	LSC	LIC
3	1244	19	0.0153	0.0197	0.0057
4	1058	15	0.0142	0.0197	0.0057
5	1225	13	0.0106	0.0197	0.0057
6	968	8	0.0083	0.0197	0.0057
7	1352	15	0.0111	0.0197	0.0057
10	392	10	<b>0.0255</b>	0.0197	0.0057
11	1401	16	0.0114	0.0197	0.0057
12	1190	14	0.0118	0.0197	0.0057
13	804	13	0.0162	0.0197	0.0057
14	1376	14	0.0102	0.0197	0.0057
17	1028	10	0.0097	0.0197	0.0057
18	2306	9	<b>0.0039</b>	0.0197	0.0057
19	1202	13	0.0108	0.0197	0.0057
20	995	15	0.0151	0.0197	0.0057
21	1184	24	<b>0.0203</b>	0.0197	0.0057
24	542	18	<b>0.0332</b>	0.0197	0.0057
25	1187	21	0.0177	0.0197	0.0057
26	1305	9	0.0069	0.0197	0.0057
27	1216	13	0.0107	0.0197	0.0057
28	1721	19	0.0110	0.0197	0.0057

0.0297

**0.0057**

0.0225

**0.0271**





# Gráficos de controle np

$$Pr[D = d] = \binom{n}{d} p^d (1-p)^{n-d} \quad d=0,1,2,\dots,n$$

**Exemplo:**  $Pr[D = 1] = \binom{200}{1} 0,01^1 (0,99)^{199}$

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

$$LM_{np} = n\bar{p}$$

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



## Construção do Gráfico de controle de np

### Número de Clientes Insatisfeitos com a Comida

Dia da Pesquisa	Número de Clientes Insatisfeitos	Dia	NCI	Dia	NCI	Dia	NCI
1	2	9	0	17	5	25	0
2	0	10	3	18	3	26	2
3	2	11	2	19	3	27	2
4	0	12	2	20	4	28	1
5	5	13	1	21	0	29	3
6	4	14	2	22	2	30	1
7	3	15	4	23	3	<b>subtotal</b>	<b>9</b>
8	0	16	1	24	0	<b>total</b>	<b>60</b>
<b>subtotal</b>	<b>16</b>		<b>15</b>		<b>20</b>	<b>clientes pesquisados:</b>	<b>6000</b>

Amostrados 200 clientes por dia



### Numero de Clientes Insatisfeitos com a Comida

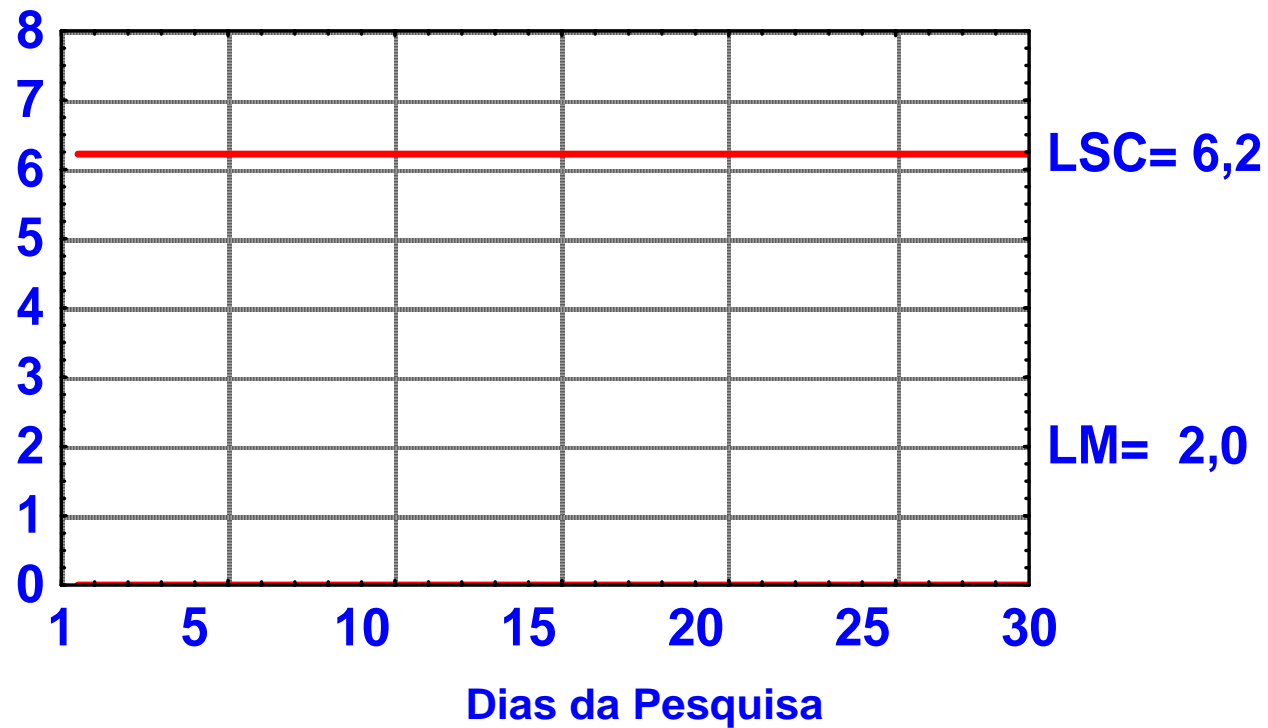


Gráfico de controle de np: Quesito Comida



### Numero de Clientes Insatisfeitos com a Comida

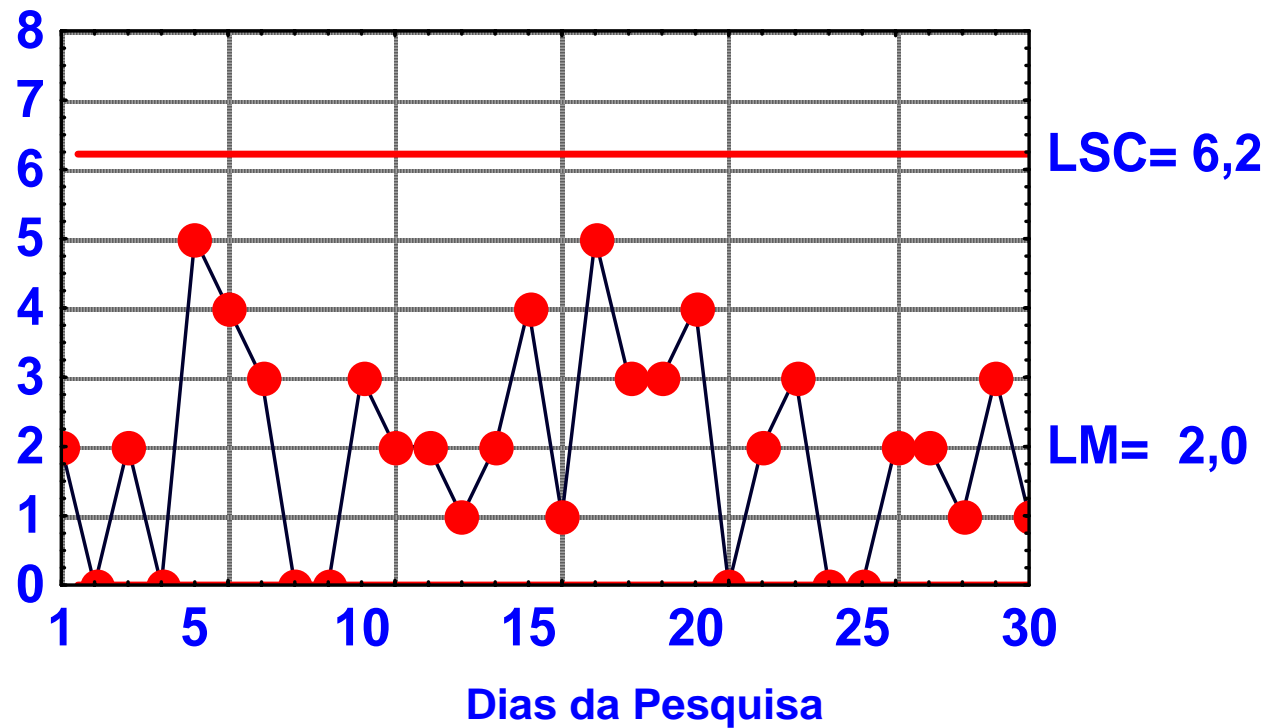


Gráfico de controle de np



# Gráficos de controle para variáveis

Análise de um processo =>

Média => gráfico  $\bar{x}$

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

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

Dispersão -> gráfico R

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

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



<b>Coeficientes para o gráfico de média e R</b>			
<b>Tamanho amostra (n)</b>	<b>A2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>
<b>2</b>	<b>1.880</b>	<b>-</b>	<b>3.267</b>
<b>3</b>	<b>1.023</b>	<b>-</b>	<b>2.575</b>
<b>4</b>	<b>0.729</b>	<b>-</b>	<b>2.282</b>
<b>5</b>	<b>0.577</b>	<b>-</b>	<b>2.115</b>
<b>6</b>	<b>0.483</b>	<b>-</b>	<b>2.004</b>
<b>7</b>	<b>0.419</b>	<b>0.076</b>	<b>1.924</b>
<b>8</b>	<b>0.373</b>	<b>0.136</b>	<b>1.864</b>
<b>9</b>	<b>0.337</b>	<b>0.184</b>	<b>1.816</b>
<b>10</b>	<b>0.308</b>	<b>0.223</b>	<b>1.777</b>



Hipóteses a serem testadas são:

$$\begin{cases} H_0 : \text{Processo sob controle;} \\ H_1 : \text{Processo fora de controle;} \end{cases}$$

Hipótese	Decisão			
	Aceitar $H_0$	Probabilidade	Rejeitar $H_0$	Probabilidade
$H_0$				
Verdadeira	Decisão correta	$1 - \alpha$	<b>Erro tipo I</b>	$\alpha$
Falsa	<b>Erro tipo II</b>	$\beta$	Decisão correta	$1 - \beta$

**Erro tipo I:** quando concluímos que o processo esta fora de controle, mas na verdade ele estava sob controle estatístico (alarme falso);

**Erro tipo II:** quando concluímos que o processo esta sob controle, mas na verdade ele esta fora de controle estatístico (não-detecção);

$\alpha$  é a probabilidade de erroneamente considerar o processo fora de controle

$\beta$  é a probabilidade de erroneamente considerar o processo sob controle



## Gráfico de Controle de $\bar{X}$

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

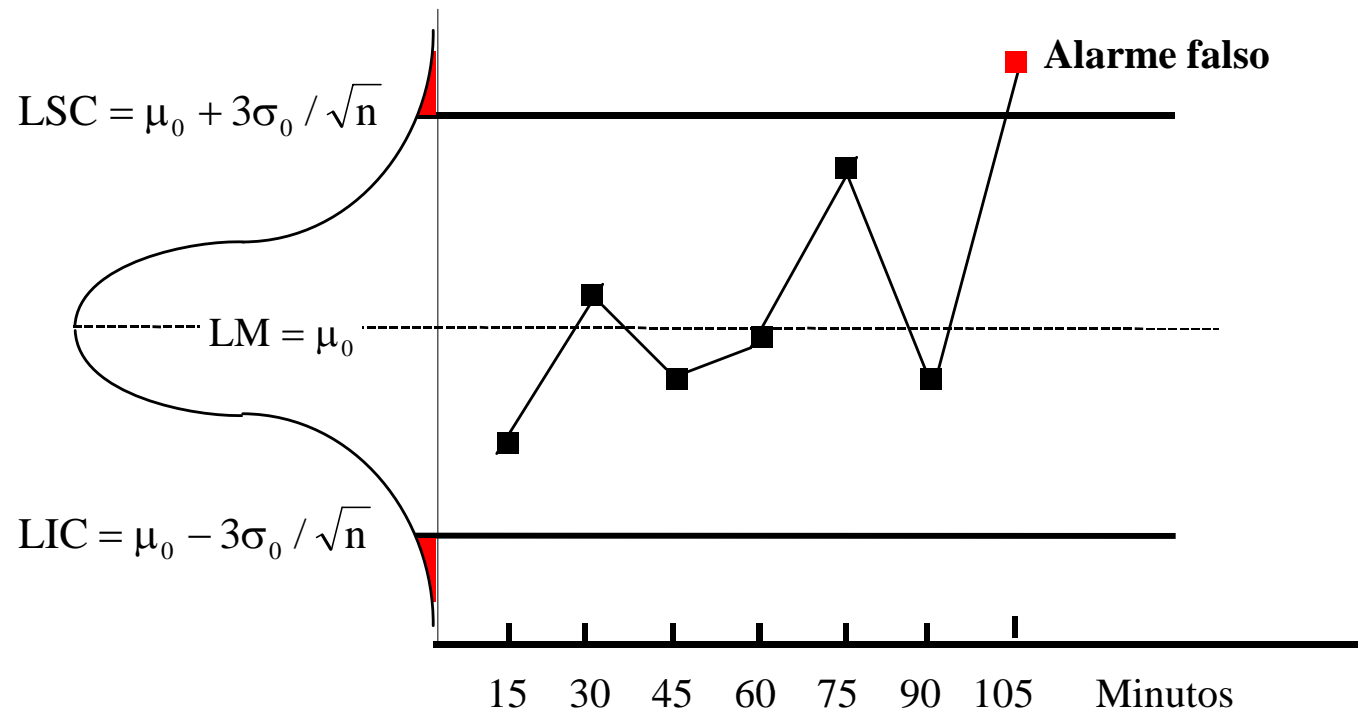
$$\alpha = Pr[ \bar{X} > LSC_{\bar{X}} \text{ ou } \bar{X} < LIC_{\bar{X}} | \mu = \mu_0 ]$$

$$\beta = Pr[ LIC_{\bar{X}} < \bar{X} < LSC_{\bar{X}} | \mu \neq \mu_0 ]$$

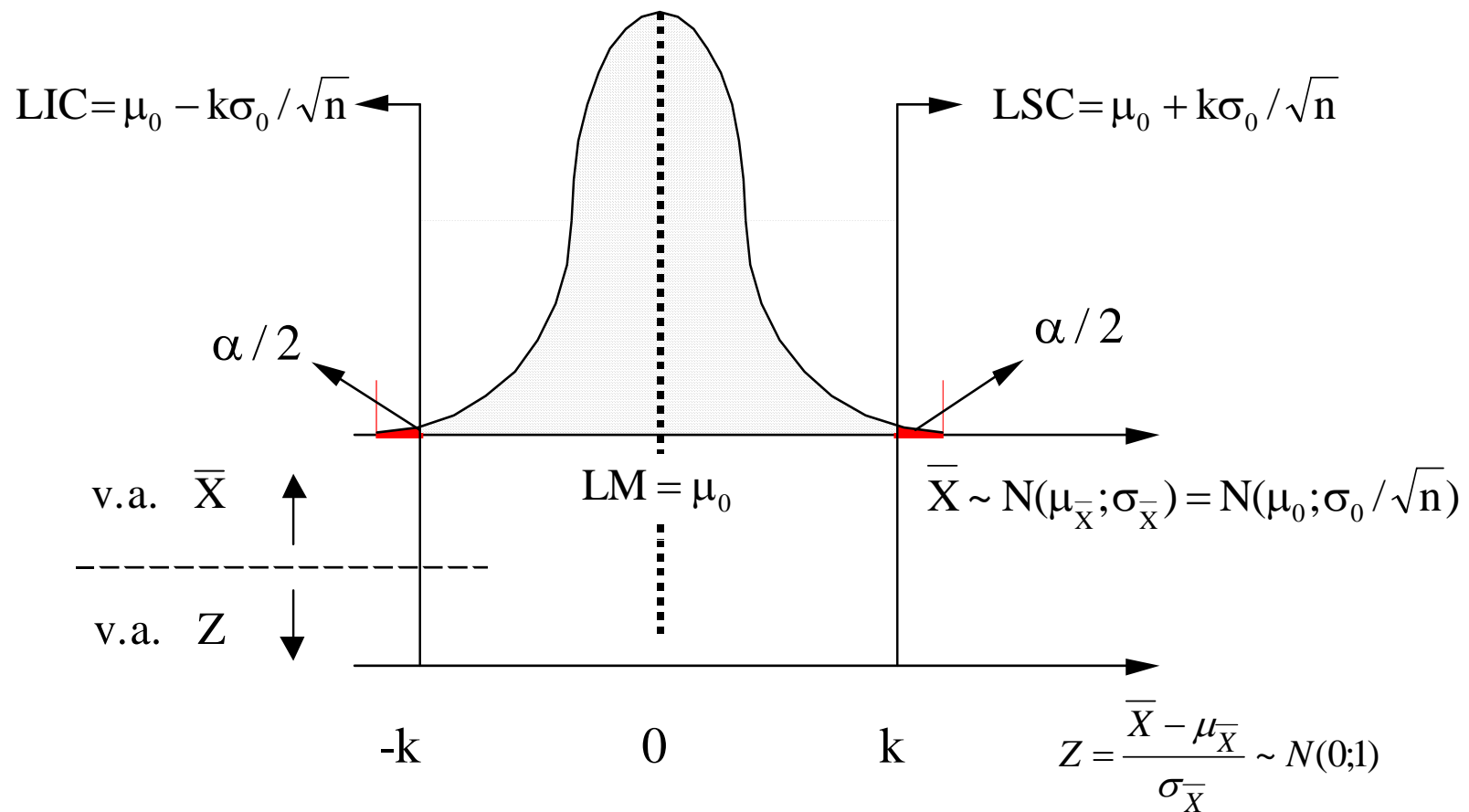


## Gráfico de Controle de $\bar{X}$

$$\bar{X} \sim N(\mu_{\bar{X}}; \sigma_{\bar{X}}) \sim N(\mu_0; \sigma_0 / \sqrt{n})$$



*Gráfico de  $\bar{X}$  – ocorrência de um alarme falso*



Tradicionalmente  $k=3,00$

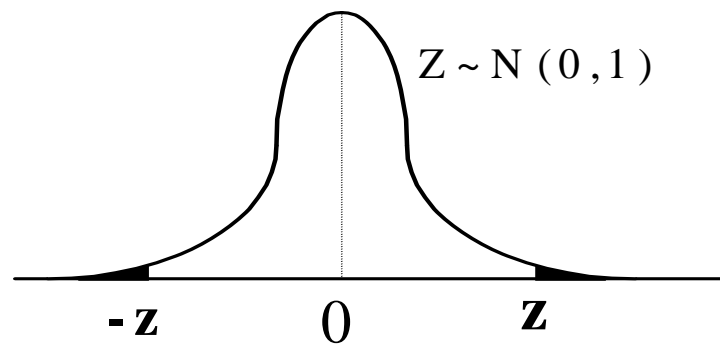
### *Determinação do Risco de Alarme Falso*

$$\alpha = Pr[|Z| < k]$$



$$\alpha = Pr[|Z| < k]$$

**Tabela A1: Área em caudas simétricas da distribuição Normal Padrão**



<b>Z</b>	<b>0,00</b>	0,01	0,02
<b>2,9</b>	0,00373	0,00361	0,00350
<b>3,0</b>	<b>0,0027</b>	0,00261	0,00253
<b>3,1</b>	0,00194	0,00187	0,00181
<b>3,2</b>	0,00137	0,00133	0,00128
<b>3,3</b>	0,00097	0,00093	0,00090



$$\bar{X} \sim N(\mu_{\bar{X}}; \sigma_{\bar{X}}) \sim N(\mu_0 + \delta\sigma_0; \sigma_0 / \sqrt{n})$$

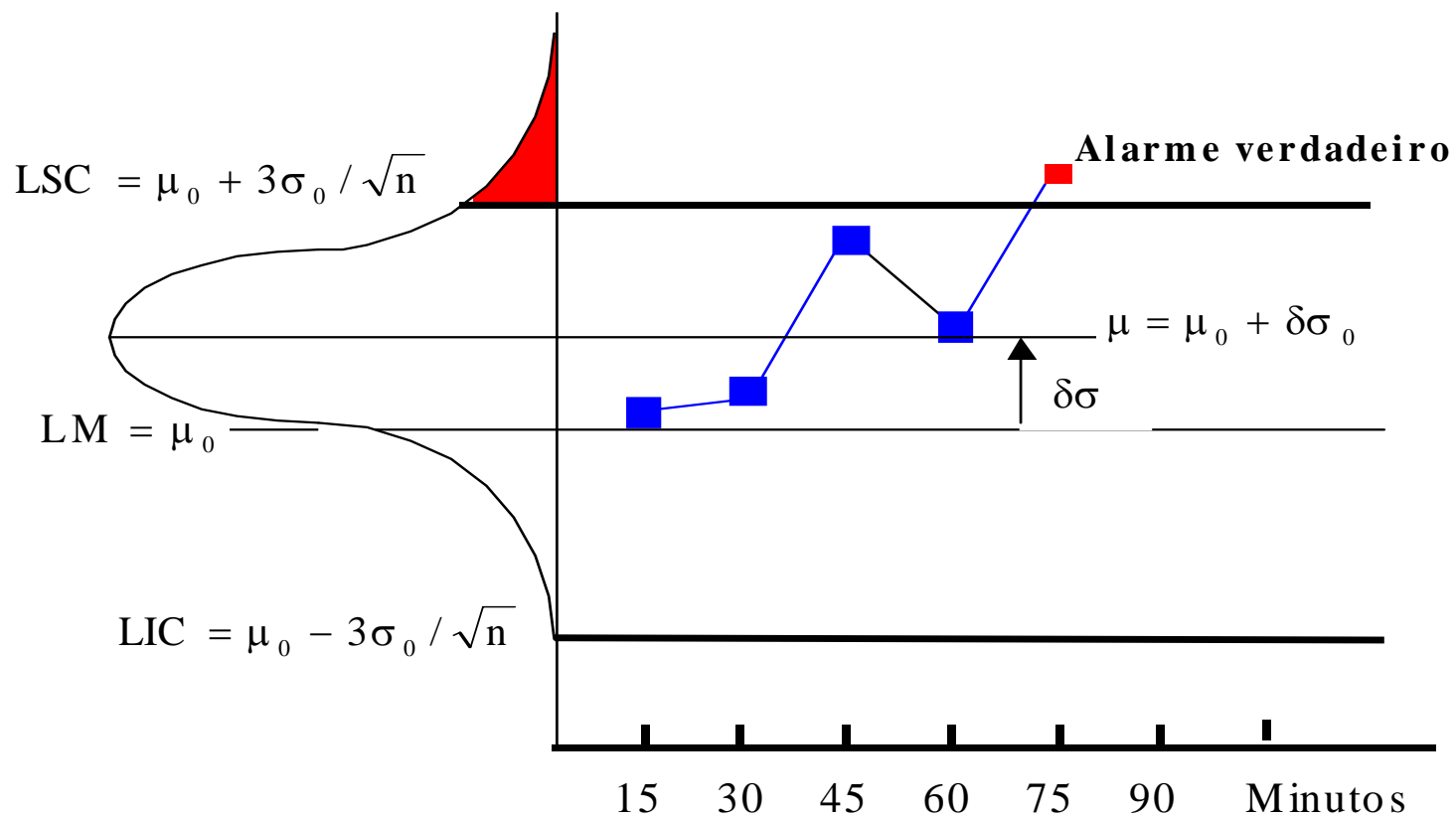


Gráfico de  $\bar{X}$  – ocorrência de um alarme verdadeiro



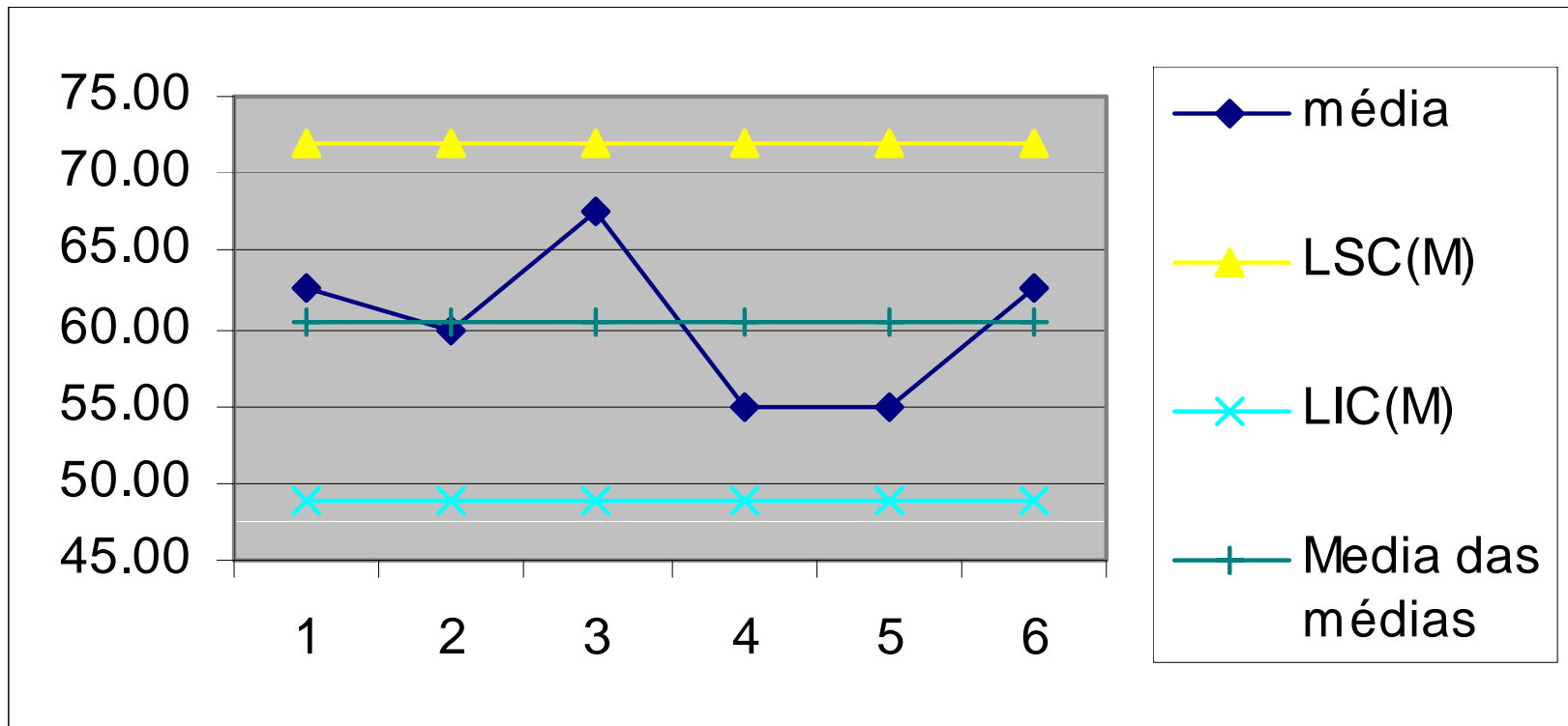
**Exemplo:** Uma cooperativa agrícola que produz, ensaca e comercializa café torrado e moído, resolveu verificar a qualidade de seu produto em relação ao peso de cada pacote.

Para isso, fez-se necessário um gráfico de controle para variáveis, no caso, o peso dos pacotes. Foi então feita uma amostragem aleatória de quatro pacotes em cada uma das seis amostras.

	Amostras					
	1	2	3	4	5	6
Peso	60	50	60	60	60	50
	70	60	70	50	50	65
	55	70	75	55	55	65
	65	60	65	55	55	70
Média						
R						
Média medias						
media R						
n						

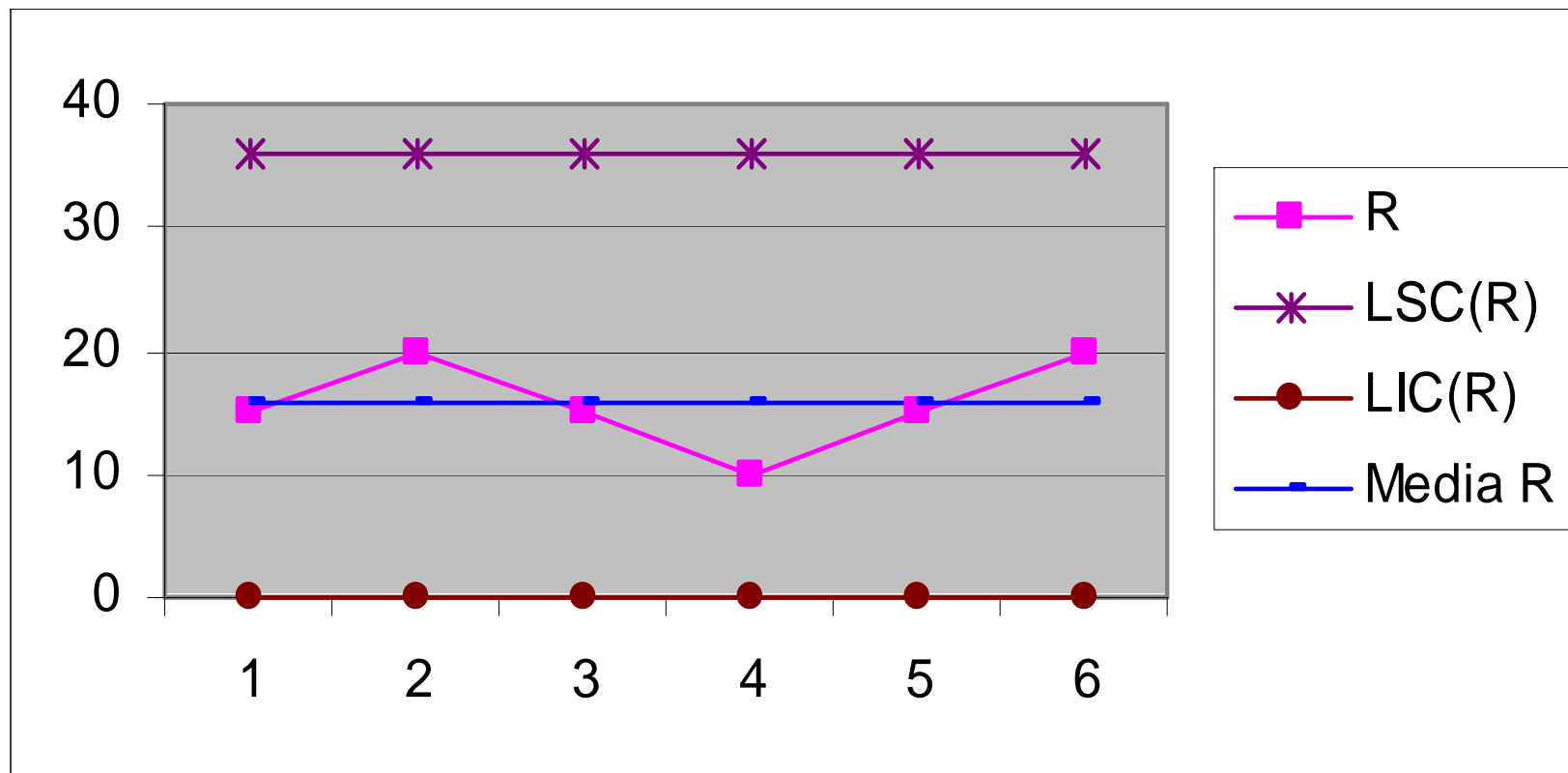


## Gráfico $\bar{x}$





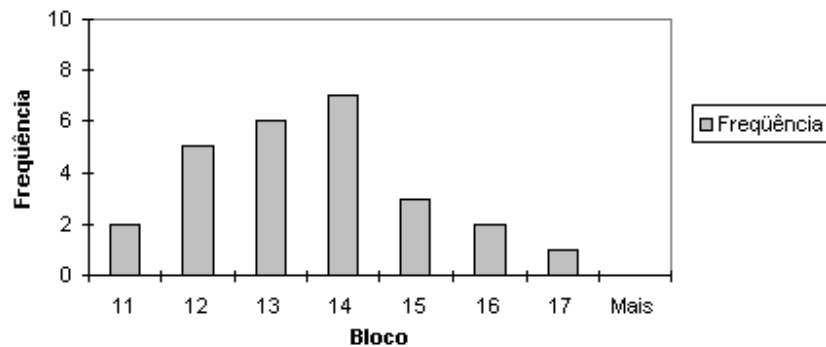
## Gráfico R





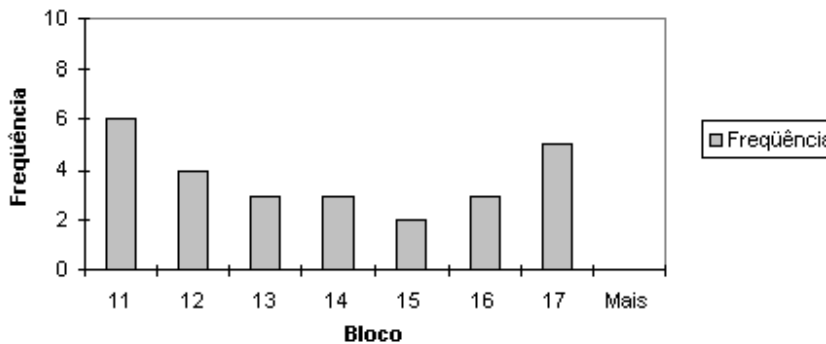
# Histogramas

Histograma



Operador A → apresenta frequência máxima na média (mais regular)

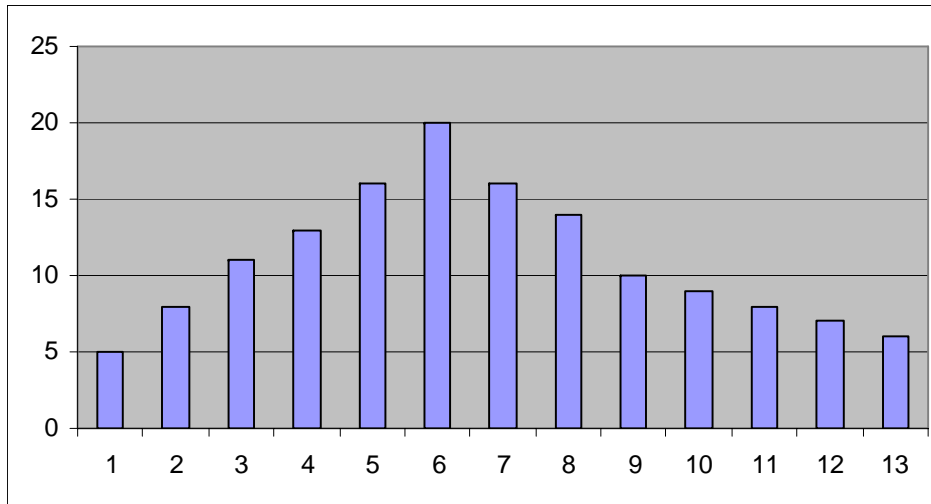
Histograma



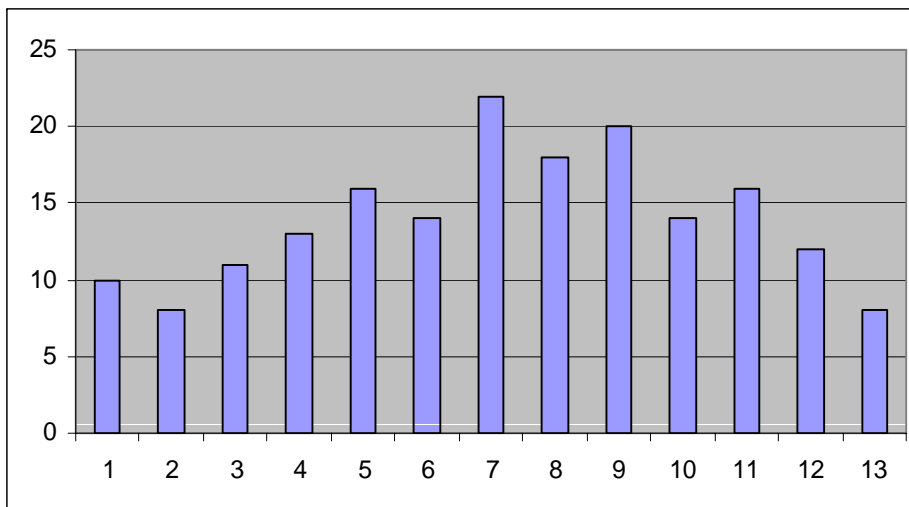
Operador B → Alto potencial, porém irregular (dificuldades interferem em determinados dias)



# Histogramas



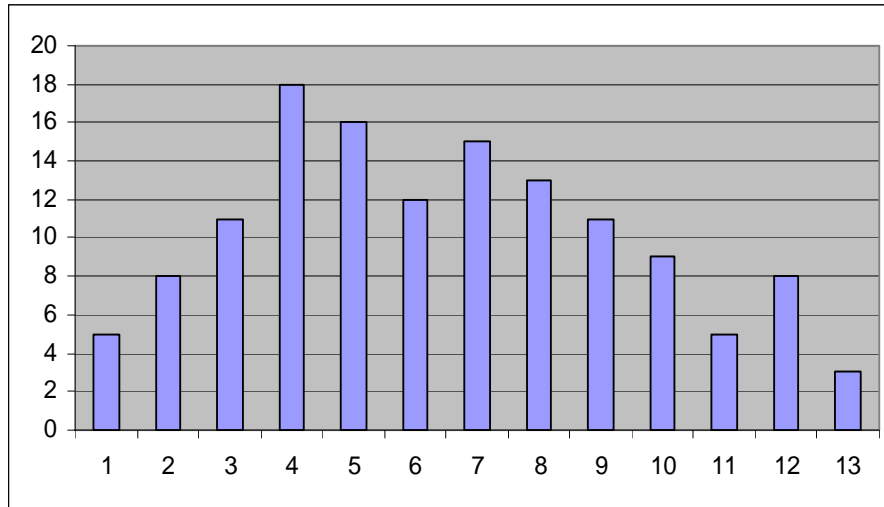
Exemplo 1: Medição de componentes eletrônicos



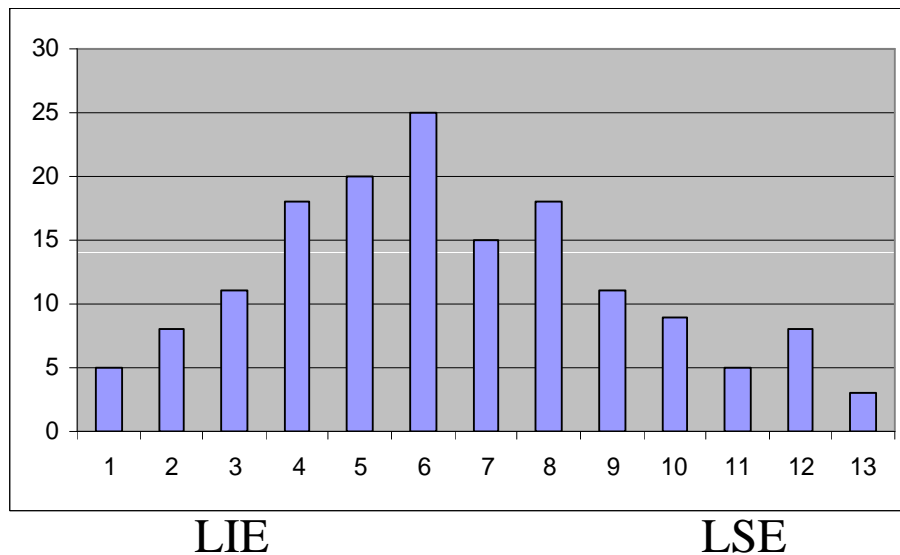
Exemplo 2: Índice de viscosidade de um óleo automotivo



# Histogramas



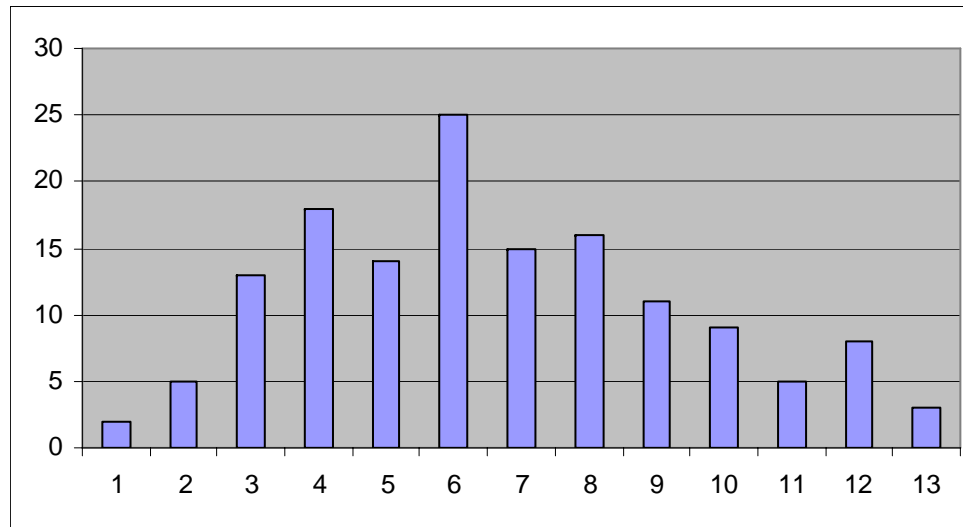
Exemplo 4: Histograma para peças usinadas com grande perda de material.



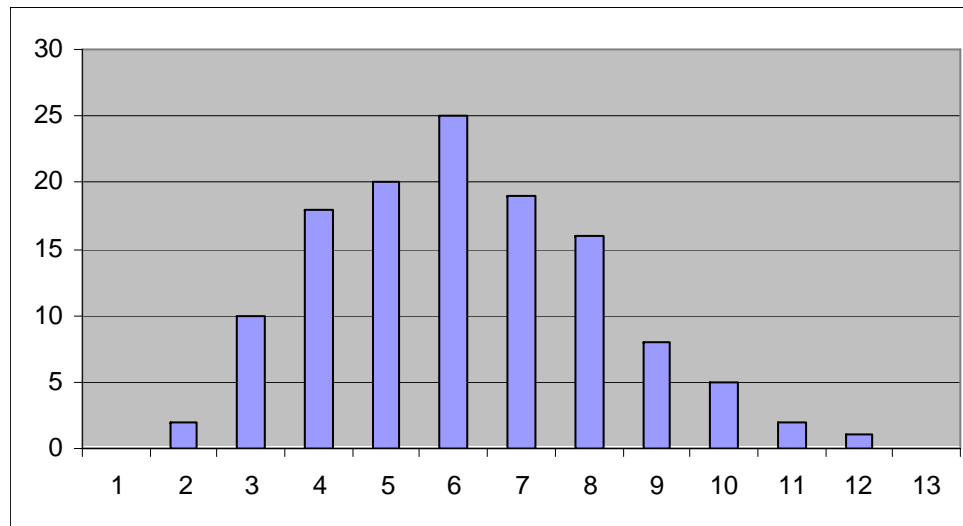
Exemplo 5: Uma companhia filial processou painéis com chapas fornecidas pela matriz. Ocorria muitas rachaduras e chapas não tinham o mesmo tamanho.



# Fornecedores



Fornecedor A



Fornecedor B

LIE

LSE



**Inspecione rapidamente (5 segundos) o número de F's que aparece no texto abaixo:**

**“FINISHED FILES ARE THE RESULT OF YEARS OF SCIENTIFIC STUDY COMBINED WITH THE EXPERIENCE OF YEARS”**

**Quantos F's? 3 ou mais? Não! são 6 F's.**



## FOLHAS DE VERIFICAÇÃO

### **Principais objetivos da construção de uma folha de verificação:**

Facilitar a coleta de dados;

Organizar os dados durante a coleta, eliminando a necessidade de rearranjo manual posterior.

### **Para uso desta técnica deve ser estabelecido claramente o seguinte:**

- Fixar qual evento está sendo estudado;
- Definir o período durante o qual os dados serão coletados;
- Construir um formulário claro e de fácil manuseio;
- Coletar os dados honestamente.



Produto: <u>Lente</u> Estágio de Fabricação: <u>Inspeção final</u> Tipo de defeito: <u>Arranhão, Trinca, Revestimento Inadequado, Muito Grosseira ou Muito Fina, Não Acabada</u> Total inspecionado: <u>1.200</u> Data: <u>03/01/95</u> Seção: <u>INSPROD</u> Inspetor: <u>Augusto Bicalho</u> Observações: _____ -		
Defeito	Contagem	Sub-total
<b>Arranhão</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	12
<b>Trinca</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	41
<b>Revestimento Inadequado</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	55
<b>Muito Grosso ou Muito Fina</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	11
<b>Não Acabada</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	5
<b>Outros</b>	<input type="checkbox"/>	3
	<b>Total</b>	127
<b>Total Rejeitado</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	90

**FIGURA 2.17** Folha de verificação para a classificação de lentes defeituosas.

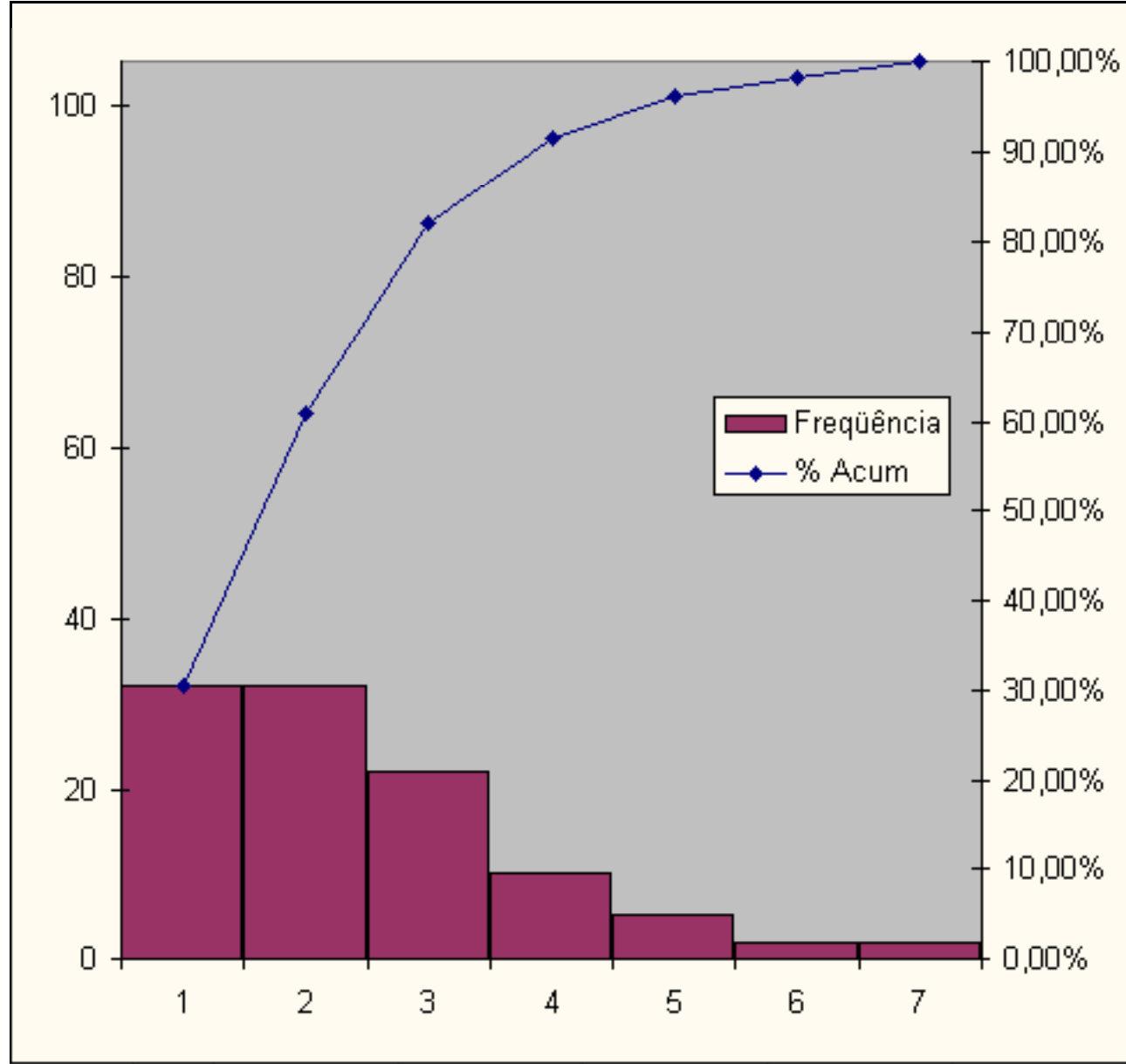
Fonte: Adaptado de Werkema (1995).



# Gráfico de Pareto

O gráfico de Pareto é um caso particular de histograma em que a distribuição de frequência é ordenada em escala decrescente ou crescente

Regra  $\Rightarrow$  80 - 20





Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5
Tipo de Defeito	Quantidade de Defeito	Total Acumulado	Percentagem Geral (%)	Percentagem Acumulada
<b>Revest.</b>				
<b>Inadeq.</b>	55	55	43.3	43.3
<b>Trinca</b>	41	96	32.3	75.6
<b>Arranhão</b>	12	108	9.4	85
<b>Fina ou</b>				
<b>Grossa</b>	11	119	8.7	93.7
<b>Não Acabada</b>	5	124	3.9	97.6
<b>Outros</b>	3	127	2.4	100
<b>Total</b>	<b>127</b>	<b>—</b>	<b>100</b>	<b>—</b>

Fonte: Werkema (1995).

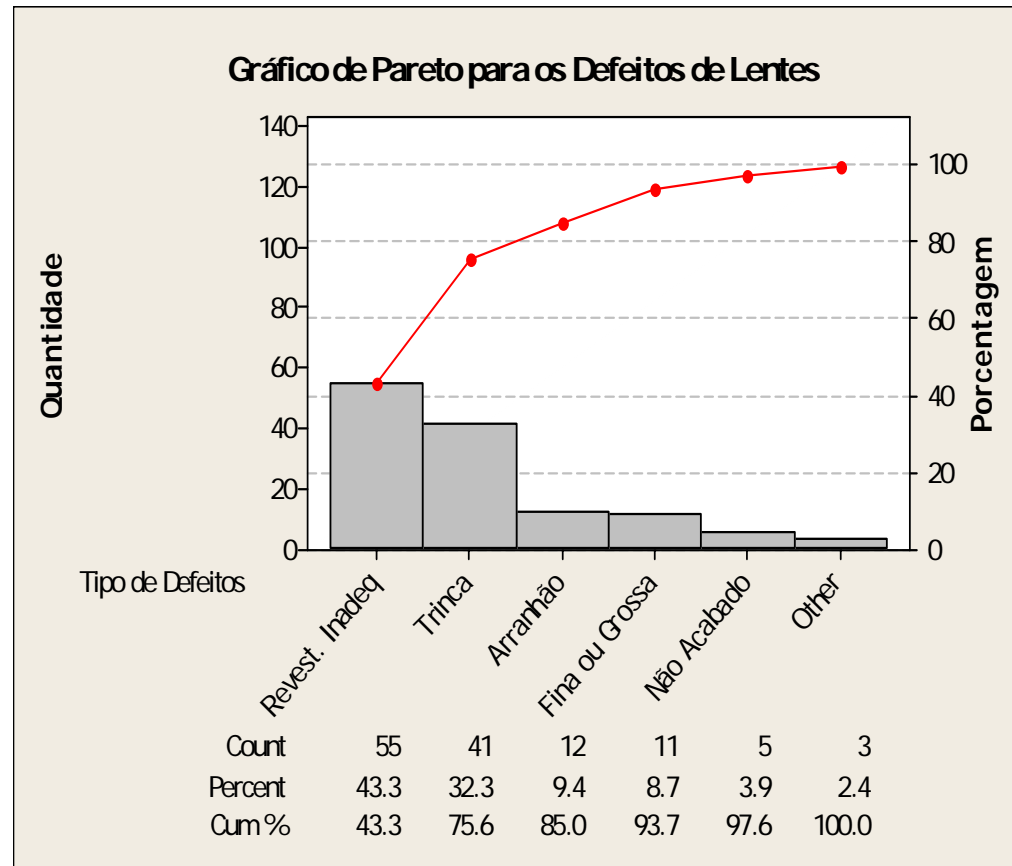


FIGURA 2.18 Gráfico de pareto do Minitab 14® para os tipos de defeitos de lentes.

Fonte: Werkema (1995).

$$\text{Melhoria Total} = \frac{\text{Total de Defeitos "Antes"} - \text{Total de Defeitos "Depois"}}{\text{Total de Defeitos "Antes"}}$$



## Cuidados ao uso de gráficos de Pareto Werkema (1995)

- Importância em construir o pareto para causas após a identificação dos problemas pelo pareto para efeitos;
- Utilizar o bom senso na hora de definir quais categorias a serem priorizadas. Por exemplo, a categoria acidente de trabalho fatal requer maior cuidado mesmo ela não sendo a de maior frequência;
- Se a categoria pertence aos muitos triviais e sua solução for simples, este problema de ser eliminado de imediato.



# Índice de Capacidade

Verificar se o produto pode satisfazer as especificações

$$C_p = \frac{\text{Lim. Sup. espec.} - \text{Lim. Infe.espec}}{6\sigma}$$

$C_p < 1,00 \rightarrow$  ruim.

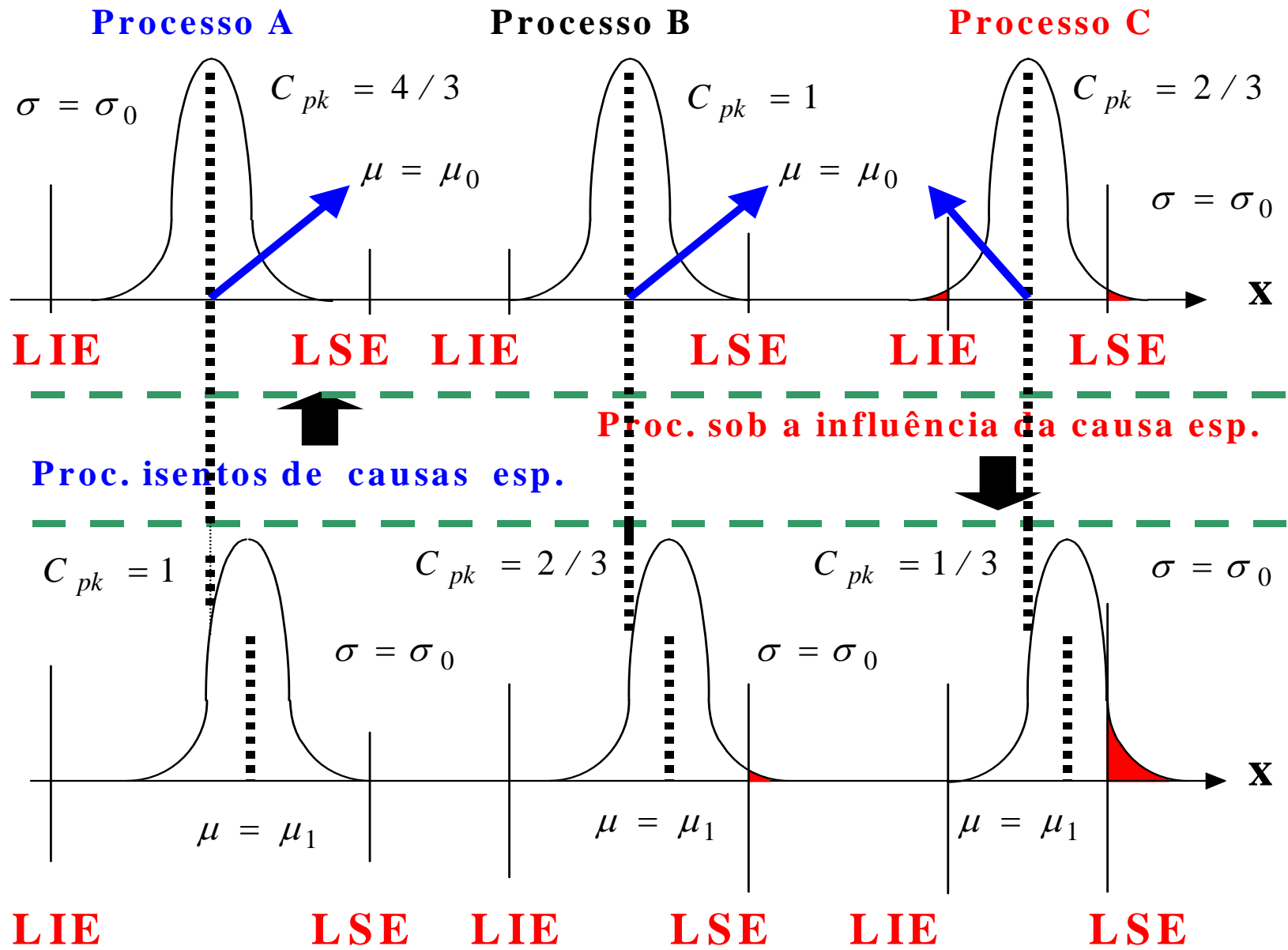
$C_p = 1,00 \rightarrow$  melhorado

$C_p > 1,00 \rightarrow$  capaz.



# Índice de Capacidade

CLASSIFICAÇÃO	COMPARAÇÃO GRÁFICA	CARACTERÍSTICAS	AÇÕES PERTINENTES
VERDE ADEQUADO BOA CAPABILIDADE		- Todos os dados estão localizados dentro dos Limites de Especificação com uma boa margem de segurança de ambos os lados. Esta margem é de pelo menos 1 $\sigma$ .	- Como o histograma atende à especificação com folga, só precisa manter a atual situação. - O processo está pronto para ser delegado para as pessoas que o operam.
AMARELO ACEITÁVEL CAPABILIDADE RAZOÁVEL		- Todos os dados estão localizados dentro dos Limites de Especificação, porém, aparecem alguns resultados muito próximos deles. Esta distância entre os valores extremos e os limites é menor do que 1 $\sigma$ .	- Como praticamente não existe uma margem extra, é importante reduzir um pouco a variabilidade - A gerência deve promover uma melhoria (PDCA) de tal forma que o processo se torne verde.
VERMELHO INCAPAZ INADEQUADO		- alguns dados estão localizados fora dos Limites de Especificação, exigindo inspeção 100% para separar os itens defeituosos e garantir a qualidade especificada.	- É necessário agir para trazer a média mais próxima ao centro das especificação.
			- São necessárias ações para reduzir a variação – melhoria do processo (PDCA).
			- São necessárias não só ações para reduzir a variação, como também para trazer a média mais próxima ao centro da especificação.





$$C_{pk} = \text{MIN} \left( \frac{\text{LSC} - \bar{X}}{3\sigma} \text{ OU } \frac{\bar{X} - \text{LIC}}{3\sigma} \right)$$

Exemplo: Um processo está operando sob controle ao nível médio de 75 e com desvio padrão estimado igual a 6,5. Se as especificações do produto são L = 50 e U = 90, verifique se o processo é capaz de atender as especificações



$C_{PK}$	INTERPRETAÇÃO	AÇÕES PERTINENTES	RELAÇÃO DO VALOR NOMINAL E A LINHA CENTRAL DO PROCESSO
$C_{PK} \geq 2,0$	PROCESSO EXCELENTE Altamente confiável	Os operadores têm perfeito controle do processo	Se $C_P = C_{PK} \Rightarrow$ Processo centrado
$1,33 \leq C_{PK} \leq 2,0$	PROCESSO CAPAZ Relativamente confiável	Os operadores têm que monitorar para evitar deterioração	Se $C_{PK} \neq C_P \Rightarrow$ Processo está fora de alvo
$1,00 \leq C_{PK} < 1,3$	PROCESSO RELATIVAMENTE INCAPAZ Pouco confiável	Exige dos operadores controle contínuo	$C_{PK} < C_P$ Processo está fora do alvo, mas está dentro dos limites de Especificação
$0 < C_{PK} < 1$	PROCESSO INCAPAZ Podemos ter produção defeituosa	Exige dos operadores controle de 100% da produção.	$C_{PK} < C_P$ A linha central do processo está dentro ou coincidindo com um dos Limites de Especificação (podemos ter 50% de produção acima ou abaixo dos limites Especificação)
$C_{PK} < 0$	PROCESSO TOTALMENTE INCAPAZ Não tem condições de manter as especificações		$C_{PK} < C_P$ A linha central do processo está fora dos Limites de Especificação Se $C_{PK} < -1 \Rightarrow$ Toda a produção está fora dos Limites de Especificação

Fonte: Adaptado de Soares (2001).



Valores mínimos recomendados para  $C_{pk}$   
(adaptado de Montgomery, 1991)

Processos	Produtos	Especificação	
		unilateral	bilateral
<b>Estáveis</b>	<b>Geral</b>	<b>1.25</b>	<b>1.33</b>
	<b>Segurança (PC)</b>	<b>1.45</b>	<b>1.5</b>
<b>Novos</b>	<b>Geral</b>	<b>1.45</b>	<b>1.67</b>
	<b>Segurança (PC)</b>	<b>1.6</b>	<b>1.67</b>



## Intervalos de Confiança para $C_p$ e $C_{pk}$

$$\hat{C}_p \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha/2, n-1}}{n-1}} \leq C_p \leq \hat{C}_p \sqrt{\frac{\chi^2_{\alpha/2, n-1}}{n-1}};$$

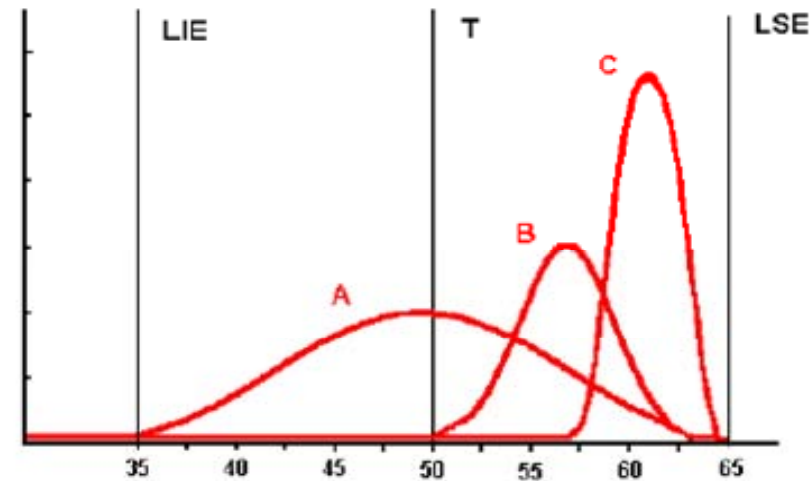
$$\hat{C}_{pk} \left[ 1 - Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9n\hat{C}_{pk}^2} + \frac{1}{2(n-1)}} \right] \leq C_{pk} \leq \hat{C}_{pk} \left[ 1 + Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{9n\hat{C}_{pk}^2} + \frac{1}{2(n-1)}} \right]$$



# Índice de $C_{pm}$

$$C_{pm} = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{\sigma^2 + (d - \mu)^2}}$$

$$d = \frac{LSE + LIE}{2}$$



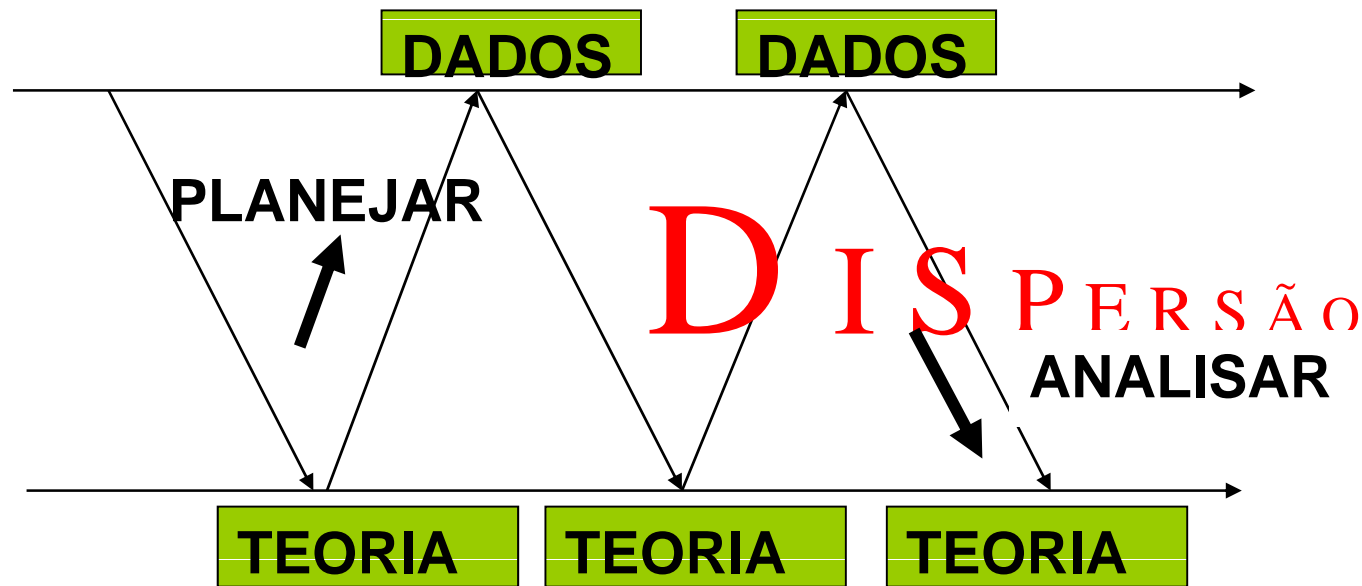
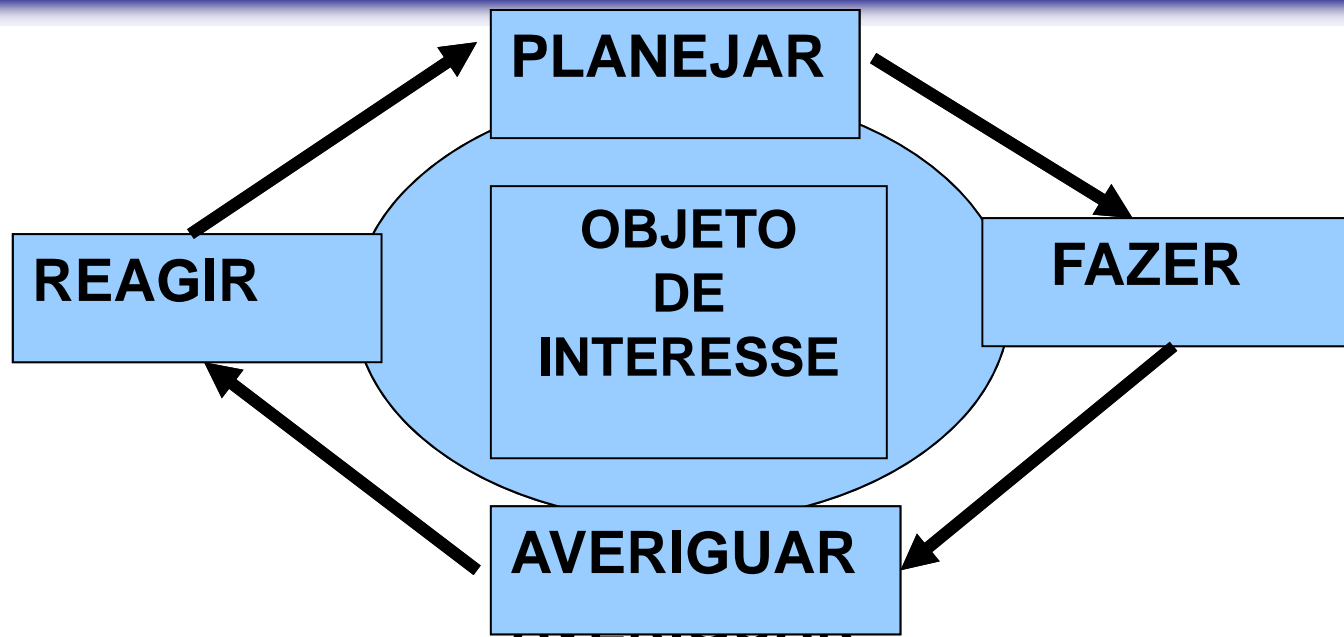
Comparação de três processos com o mesmo  $C_{pk}$ .

Fonte: Kurcrevski (2003).

Comparação de índices de capacidade para diferentes processos.

Processos	$C_p$	$C_{pk}$	$C_{pm}$
A	1.00	1.00	1.00
B	2.00	1.00	0.63
C	4.00	1.00	0.64

Fonte: Kurcrevski (2003).



HOERL, SNEE, BOX