

## **Avaliação de Sistemas de Medição**

### **Roteiro**

1. Características de um Sistema de Medição
2. Avaliação do Erro Sistemático
3. Repetitividade e Reprodutibilidade
4. Adequabilidade de Sistema de Medição
5. Aplicação
6. Referências

## **Características de Sistema de Medição**

### **Medição**

- O monitoramento de um processo dá-se através da medição de uma característica de qualidade;
- Medição produz resultados com erros ou com certo grau de incerteza;

### Variabilidade

- Variabilidade total nos valores medidos de  $X$ :
  - √ Variabilidade real: inerente ao processo produtivo
    - Causas comuns e, ocasionalmente causas aleatórias;
  - √ Variabilidade inerente à medição.

$$\sigma_{\text{total}}^2 = \sigma_{\text{processo}}^2 + \sigma_{\text{medição}}^2$$

- Se o erro de medição for independente do verdadeiro valor da grandeza medida consegue-se estimar diretamente  $\sigma_{\text{tot.}}^2$  e  $\sigma_{\text{med.}}^2$ .

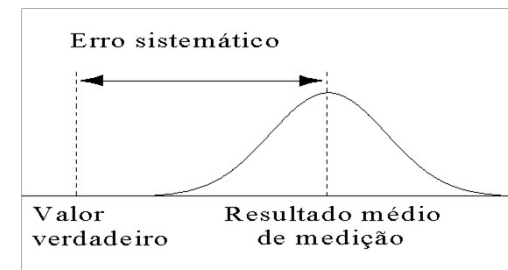
$$\sigma_{\text{processo}}^2 = \sigma_{\text{total}}^2 - \sigma_{\text{medição}}^2$$

### Características de um Sistema de Medição

- Valor verdadeiro:
  - √ Resultado de uma medição perfeita
- Erro de medição:
  - √ Diferença entre o resultado de uma medição e o valor verdadeiro

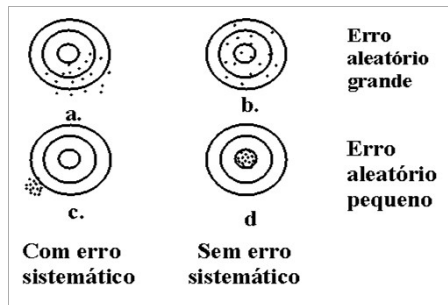
### Parcelas do Erro de Medição

- Erro sistemático:
  - √ Diferença entre o valor médio de infinitas medições do mensurando (sob as mesmas condições) e seu valor verdadeiro;
- Erro aleatório:
  - √ Diferença entre o resultado da medição e esse valor médio;
  - √ Tem média nula.
  - √ Em geral, é bem representado por uma distribuição normal.



- A magnitude do erro sistemático pode variar ao longo da escala do instrumento de medição;
- O erro sistemático pode ser conhecido e corrigido através de procedimento de calibração

### Relacionamento entre os Erros



- Centro do alvo: valor verdadeiro da grandeza medida
- Instrumento “exato”: Não possui erro sistemático;
- Instrumento “preciso”: seu erro aleatório é pequeno

### Diferenças entre Sistemas de Medição

- Principais fatores que diferenciam os sistemas de medição:
  - ✓ Detalhes construtivos e de projeto;
  - ✓ Desgaste decorrente do uso;
  - ✓ Modo de operação;
  - ✓ Condições ambientais;
  - ✓ Calibração.

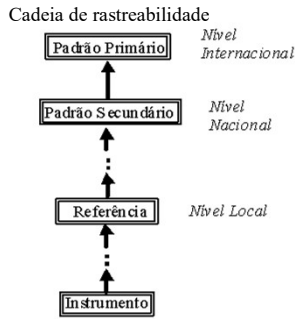
### Avaliação do Erro Sistemático

### Avaliação do Erro Sistemático

- Comparação do resultados de medição obtido pelo instrumento com valor de referência obtido por padrão;
- Calibração:
  - ✓ Conjunto de operações que estabelece correspondência entre os valores entre os valores indicados pelo instrumento e os valores estabelecidos por padrão de referência

### Rastreabilidade

- Propriedade de um resultado de medição relacionar-se com referências estabelecidas;



### Procedimento para Cálculo do Erro Sistemático

- Diferença média entre o valor de referência ( $x$ ) e o valor medido ( $x_i$ ) repetidas vezes pelo mesmo operador e em condições normais de operação

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - x)}{k}$$

- Desvio-padrão amostral:

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (d_i - \bar{d})^2}{k - 1}}$$

### Intervalo de Confiança

- Intervalo com  $(1 - \alpha)100\%$  de confiança:

$$\bar{d} - t_{\alpha/2, (k-1)} \frac{s_d}{\sqrt{k}} \leq \text{erro} \leq \bar{d} + t_{\alpha/2, (k-1)} \frac{s_d}{\sqrt{k}}$$

- Se o intervalo de confiança incluir o zero, não temos evidência amostral pra afirmar que o erro sistemático é diferente de zero, a um nível de significância  $\alpha$ .

### Erro Sistemático Relativo

- Porcentagem em relação à variabilidade total

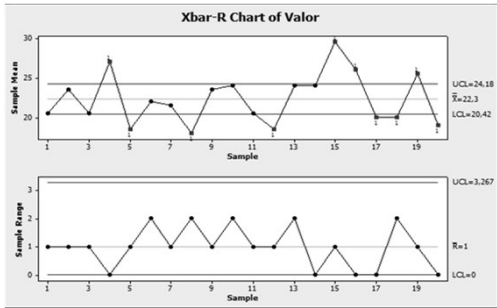
$$\% \text{ erro sistemático} = \frac{\bar{d}}{\hat{\sigma}_{\text{total}}} \times 100$$

- Recomenda-se que esse percentual não deva exceder **10%** para se considerar adequado o sistema de medição.

Repetitividade e Reprodutibilidade

Exemplo – Capacidade de Medidor

- Objetivo: avaliação da capacidade de medidor
- Operador 1 do processo utiliza duas vezes o instrumento para medir cada unidade do produto
- Dados: medidas\_op1.txt



- Gráfico Xbarra:
  - ✓ Mostra poder discriminativo do medidor – capacidade do medidor para distinguir as unidades
- Gráfico R: Sob controle
  - ✓ Operador não tem dificuldade em utilizar instrumento

- Estimativa do erro de mensuração:

$$\hat{\sigma}_{\text{medidor}} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{1,0}{1,128} = 0,887$$

- Distribuição do erro de mensuração é bem aproximada pela normal.
- Estimativa capacidade do medidor:

$$6\hat{\sigma}_{\text{medidor}} = 6(0,887) = 5,32$$

As mensurações podem variar em até  $(\pm 2,66)$  devido a erro do medidor

**Variabilidade na Medição**

- Variância total:

$$\sigma^2_{\text{total}} = \sigma^2_{\text{processo}} + \sigma^2_{\text{medição}}$$

- Norma *QS 9000 Quality Manuals*  
(CHRYSLER, FORD, GENERAL MOTORS, 1994)
  - √ *process variation*: variação total
  - √ *part-to-part variation*: variação do processo

**Propriedades**

- Repetitividade:
  - √ Aptidão do instrumento em fornecer indicações muito próximas, em medições sucessivas de um mesmo mensurando, sob as mesmas condições;
  - √ Precisão básica inerente ao próprio medidor
- Reprodutibilidade:
  - √ Grau de concordância entre resultados de medições de um mesmo mensurando efetuados sob condições variadas de medição
  - √ Variabilidade devido o medidor ser utilizado por diferentes operadores

- Podem ser expressas quantitativamente em função da dispersão dos resultados

$$\sigma^2_{\text{erro de medição}} = \sigma^2_{\text{medidor}} = \sigma^2_{\text{repetitividade}} + \sigma^2_{\text{reprodutibilidade}}$$

**Condições de Repetitividade**

- Mesmo procedimento de medição;
- Mesmo observador;
- Mesmo instrumento de medição, utilizado nas mesmas condições;
- Mesmo local;
- Repetição em curto espaço de tempo.

### Variabilidade da Medição

- Variabilidade inerente à medição:

$$\sigma_{\text{medidor}}^2 = \sigma_{\text{repe}}^2 + \sigma_{\text{repro}}^2$$

- $\sigma_{\text{repe}}^2$ : variância dos resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando sob as mesmas condições;
- $\sigma_{\text{repro}}^2$ : variância dos resultados de um mesmo mensurando efetuadas sob condições variadas de medição

- Quanto menores  $\sigma_{\text{repe}}^2$  e  $\sigma_{\text{repro}}^2$  maiores, respectivamente, serão a repetitividade e a reprodutibilidade dos resultados das medições;

- Usa-se quantificar a repetitividade de um instrumento pela largura da faixa que conterá 99,73% dos resultados sob condições de repetitividade (sob hipótese de normalidade):

$$\sqrt{6} \sigma_{\text{repe}}$$

- Analogamente, a reprodutibilidade pode ser quantificada por:

$$\sqrt{\sigma_{\text{repro}}}$$

### Procedimento de Estimação de $\sigma_{\text{repe}}^2$

- Medições sucessivas:
  - ✓ da mesma grandeza;
  - ✓ pelo mesmo operador;
  - ✓ usando o mesmo procedimento de medição;
  - ✓ num mesmo local;
  - ✓ sob as mesmas condições;
  - ✓ em curto período de tempo.
- Seqüência de medições aleatorizada:
  - ✓ Operador não sabe quando mede a mesma peça.

$$\hat{\sigma}_{\text{repe}} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

✓ R: média das amplitudes de cada conjunto de medidas da mesma peça;

✓ Em geral, 2 medidas para a mesma peça.

**Procedimento de Estimação de  $\sigma^2_{repro}$**

Em geral considera-se a influência de diferentes operadores:

- $\hat{\sigma}_{repro}$  : desvio-padrão de médias de vários operadores

$$\hat{\sigma}_{repro} = \sqrt{\left(\frac{\bar{R}_{\bar{X}}}{d_2}\right)^2 - \frac{(\hat{\sigma}_{repe})^2}{nr}}, \text{ com } \bar{R}_{\bar{X}} = \bar{\bar{x}}_{\max} - \bar{\bar{x}}_{\min}$$

✓  $\bar{\bar{x}}_{\max}$  : máximo valor dos resultados médios obtidos por diferentes operadores

✓  $r$ : número de vezes que cada item é medido por cada operador;

✓  $n$ : número de itens medido

$$\hat{\sigma}_{repro} = \sqrt{\left(\frac{\bar{R}_{\bar{X}}}{d_2}\right)^2 - \frac{(\hat{\sigma}_{repe})^2}{nr}}, \text{ com } \bar{R}_{\bar{X}} = \bar{\bar{x}}_{\max} - \bar{\bar{x}}_{\min}$$

variância total                      variância da média amostral de cada operador

- Se há vários operadores, estima-se  $\sigma_{repro}$  por:

$$\hat{\sigma}_{repe} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

- Estima-se que  $\sigma^2_{repro} = 0$ , se  $\left(\frac{\bar{R}_{\bar{X}}}{d_2}\right)^2 - \frac{(\hat{\sigma}_{repe})^2}{nr} < 0$

**Índice R & R**

- Estimativa da capacidade do sistema de medição:

$$R\&R = 6\hat{\sigma}_{med} = 6\sqrt{\hat{\sigma}_{repe}^2 + \hat{\sigma}_{repro}^2}$$

✓ Índice R & R: índice de repetitividade e reprodutibilidade

**Exemplo – Micrômetro**

- Micrômetro com leitura milésima
  - ✓ 10 peças selecionadas aleatoriamente
  - ✓ 3 operadores medem duas vezes cada peça
  - ✓ Sequência de medição é aleatorizada
  - ✓ Dados: Livro planilhas.xls/Guia: R&R

Peça	Operador 1		Operador 2		Operador 3	
	Medida 1	Medida 2	Medida 1	Medida 2	Medida 1	Medida 2
1	19,982	19,981	19,981	19,981	19,981	19,976
2	19,994	19,993	20,001	19,997	19,996	19,996
3	20,223	20,221	20,219	20,221	20,223	20,222
4	20,226	20,226	20,222	20,226	20,223	20,224
5	20,025	19,994	20,035	20,033	20,028	20,025
6	20,234	20,233	20,234	20,234	20,233	20,227
7	20,043	20,043	20,054	20,051	20,037	20,035
8	20,050	20,049	20,052	20,051	20,032	20,032
9	20,015	20,017	20,018	20,017	19,985	19,979
10	19,980	19,980	19,980	19,980	19,994	19,980



Médias e amplitudes

Peça	Operador 1		Operador 2		Operador 3	
	$\bar{x}$	R	$\bar{x}$	R	$\bar{x}$	R
1	19,982	0,001	19,981	0,000	19,979	0,005
2	19,994	0,001	19,999	0,004	19,996	0,000
3	20,222	0,002	20,220	0,002	20,223	0,001
4	20,226	0,000	20,224	0,004	20,224	0,001
5	20,010	0,031	20,034	0,002	20,027	0,003
6	20,234	0,001	20,234	0,000	20,230	0,006
7	20,043	0,000	20,053	0,003	20,036	0,002
8	20,050	0,001	20,052	0,001	20,032	0,000
9	20,016	0,002	20,018	0,001	19,982	0,006
10	19,980	0,000	19,980	0,000	19,987	0,014
Médias	20,07545	0,0039	20,07935	0,0017	20,07140	0,0038

Cálculo repetitividade:  $d_2$  para  $r = 2$

$$\bar{R} = \frac{0,0039 + 0,0017 + 0,0038}{3} = 0,00313 \quad \hat{\sigma}_{\text{repe}} = \frac{0,00313}{1,128} = 0,00278$$

Cálculo reprodutibilidade:  $d_2$  para  $o = 3$

$$\bar{R}_{\bar{X}} = 20,07935 - 20,0714 = 0,0079$$

$$\hat{\sigma}_{\text{repro}} = \sqrt{\left(\frac{0,0079}{1,693}\right)^2 - \frac{(0,00278)^2}{20}} = 0,0046$$

Repetitividade e Reprodutibilidade do instrumento:

$$\left. \begin{aligned} 6\hat{\sigma}_{\text{repe}} &= 0,00167 = 16,7 \mu\text{m} \\ 6\hat{\sigma}_{\text{repro}} &= 0,00280 = 28,0 \mu\text{m} \end{aligned} \right\} \text{Faixa que contém 99,73\% dos resultados sob condições de repetitividade e reprodutibilidade}$$

Estimativa da capacidade do sistema de medição:

$$R\&R = 6\sqrt{(0,00278)^2 + (0,0046)^2} = 0,0325$$

A largura da faixa que conterà 99,73% dos resultados é 32,5  $\mu\text{m}$

✓ se o erro de medição seguir distribuição normal

Exemplo – Capacidade de Medidor

- Operador do processo utiliza duas vezes o instrumento para medir cada unidade do produto
- Repete-se estudo original com dois outros operadores
- Objetivo: Estimar repetitividade e reprodutibilidade
- Dados: medidas.txt

Dados

Peça	Operador 1				Operador 2				Operador 3			
	1	2	xbarra	R	1	2	xbarra	R	1	2	xbarra	R
1	21	20	20,5	1	20	20	20,0	0	19	21	20	2
2	24	23	23,5	1	24	24	24,0	0	23	24	23,5	1
3	20	21	20,5	1	19	21	20,0	2	20	22	21,0	2
4	27	27	27,0	0	28	26	27,0	2	27	28	27,5	1
5	19	18	18,5	1	19	18	18,5	1	18	21	19,5	3
6	23	21	22,0	2	24	21	22,5	3	23	22	22,5	1
7	22	21	21,5	1	22	24	23,0	2	22	20	21,0	2
8	19	17	18,0	2	18	20	19,0	2	19	18	18,5	1
9	24	23	23,5	1	25	23	24,0	2	24	24	24,0	0
10	25	23	24,0	2	26	25	25,5	1	24	25	24,5	1
11	21	20	20,5	1	20	20	20,0	0	21	20	20,5	1
12	18	19	18,5	1	17	19	18,0	2	18	19	18,5	1
13	23	25	24,0	2	25	25	25,0	0	25	25	25,0	0
14	24	24	24,0	0	23	25	24,0	2	24	25	24,5	1
15	29	30	29,5	1	30	28	29,0	2	21	20	20,5	1
16	26	26	26,0	0	25	26	25,5	1	25	27	26,0	2
17	20	20	20,0	0	19	20	19,5	1	20	20	20,0	0
18	19	21	20,0	2	19	19	19,0	0	21	23	22,0	2
19	25	26	25,5	1	25	24	24,5	1	25	25	25,0	0
20	19	19	19,0	0	18	17	17,5	1	19	17	18,0	2
	xbarbar		22,30	1,00	xbarbar		22,28	1,25	xbarbar		22,10	1,20

• Estimação da Repetitividade

$$\bar{\bar{R}} = \frac{\bar{R}_1 + \bar{R}_2 + \bar{R}_3}{3} = \frac{1,00 + 1,25 + 1,20}{3} = 1,15$$

$$\hat{\sigma}_{\text{repe}} = \frac{\bar{\bar{R}}}{d_2} = \frac{1,15}{1,128} = 1,02$$

• No exercício:

$$\bar{\bar{x}}_{\text{max}} = 22,30 \text{ e } \bar{\bar{x}}_{\text{min}} = 22,10$$

$$\bar{\bar{R}}_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}}_{\text{max}} - \bar{\bar{x}}_{\text{min}} = 0,20$$

$$\hat{\sigma}_{\text{repro}} = \sqrt{\left(\frac{\bar{\bar{R}}_{\bar{x}}}{d_2}\right)^2 - \frac{(\hat{\sigma}_{\text{repe}})^2}{nr}} = \sqrt{\left(\frac{0,20}{1,693}\right)^2 - \frac{(1,02)^2}{20(2)}}$$

- Estima-se que  $\sigma^2_{\text{repro}} = 0$ , pois  $\left(\frac{0,20}{1,693}\right)^2 - \frac{(1,02)^2}{20(2)} < 0$

Adequabilidade do Sistema de Medição

**Adequabilidade**

- Adequação do sistema de medição:
  - √ comparação de sua capacidade com as tolerâncias da característica de qualidade.
- *PT*: percentagem de tolerância

$$PT = \frac{R\&R}{LSE - LIE} \times 100$$

- Relação com a variabilidade total do conjunto de dados:

$$\%R\&R = \frac{R\&R}{6\hat{\sigma}_{total}} \times 100$$

√ com:

$$\hat{\sigma}_{total} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r (x_{ijk} - \bar{\bar{x}})^2}}{onr - 1} \times 100$$

- √ *o*: número de operadores
- √ *n*: número de itens medidos;
- √ *r*: número de medidas de cada item
- √  $\hat{\sigma}_{total}$ : desvio-padrão amostral de todas as medidas, de todos os itens, por todos os operadores.
- √  $\bar{\bar{x}}$ : média aritmética global

**Classificação da Adequabilidade de Sistema de Medição**

- Classificação quanto à *razão PT*:
  - √ Critério pouco rigoroso em caso de processos altamente capazes.
- Classificação quanto à *%R&R*:

**Classificação quanto à % R & R**

<i>% R &amp; R</i>	<i>Classificação</i>
$\%R\&R \leq 10$	Adequado
$10 \leq \%R\&R \leq 30$	Pode ser adequado dependendo da importância da aplicação, do custo do instrumento, etc.
$\%R\&R > 30$	Inadequado. Sistema de medição necessita de melhorias
<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>%R&amp;R</i> alto pode indicar que parte significativa da variação total provém do sistema de medição.</li></ul>	

### Comentários

- $\sigma_{repe}^2$  deve ser diminuído através da melhoria do processo de medição;
  - √ instrumento mais sofisticado, treinamento operador, etc.
- Se  $\sigma_{repe}^2$  é baixo com relação a  $\sigma_{repro}^2$  pode-se suspeitar de problemas com manutenção do instrumento, operadores, qualidade metrológica do instrumento, etc.
- Se  $\sigma_{repro}^2$  é baixo com relação a  $\sigma_{repe}^2$  deve-se observar a necessidade de treinamento de operadores

### Norma QS9000

- Recomendações:
  - √ amostra de tamanho  $n=10$ ,
  - √ cada operador medindo 2 vezes a mesma peça;
  - √ 3 operadores medindo as mesmas peças
- Caso possível aumentar o número de medidas por operador:
  - √ Obtém-se melhores resultados medindo mais peças, do que aumentar a quantidade de medidas na mesma peça por operador.

### Aplicação

### Gage R&R Study

- *Gage R&R Study (Crossed)*:
  - √ Cada peça é medida múltiplas vezes por cada operador.
- *Gage R&R Study (Nested)*:
  - √ Cada peça é medida por apenas 1 operador
    - Ex.: Ensaio destrutivo

**Gage R&R Study (Crossed)**

- Método X e R:
  - √ Divide a variação total em 3 categorias: processo (*part-to-part*), repetitividade e reprodutibilidade.
- Método Anova:
  - √ Dá um passo a mais e divide a reprodutibilidade nos componentes: operador e na interação operador-peça

**Variabilidade – Hierarquia**



**Método ANOVA**

- Tabela *Anova* de desenho fatorial balanceado 2-fatores;
- Efeito Operadores:
  - √ Variação entre diferentes operadores medindo a mesma peça;
- Efeito Peça por Operador:
  - √ Variação entre a média das peças medidas pro cada operador
    - Considera casos em que um operador apresenta maior variação quando mede peças menores, enquanto outro apresenta maior variação quando mede peças maiores

**Quantidade de Categorias**

- Quantidade de categorias dos dados que o sistema consegue perceber:
  - √ Deseja-se que o sistema de medição distinga uma alta quantidade de categorias (instrumento mais preciso)

$$\# \text{categorias} = \frac{\hat{\sigma}_{\text{processo}}}{R\&R} \times 1,41$$

Quantidade de Categorias

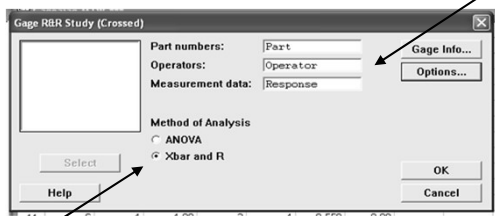
- AIAG (Automobile Industry Action Group):
  - ✓ # categorias < 2: sistema de medição inadequado para controlar o processo
    - Não se pode distinguir uma peça da outra
  - ✓ # categorias = 2 : os dados podem ser distinguidos em dois grupos (Alto e Baixo);
  - ✓ # categorias = 3 : os dados podem ser divididos em três grupos (Alto, Médio e Baixo)
  - ✓ # categorias ≥ 4: sistema de medição aceitável

Sistema de Medição 1 – GAGEAIAG

- Situação:
  - ✓ A variação do sistema de medição **contribui pouco** na variação total;
- Banco de dados:
  - ✓ 10 peças selecionadas, representando a amplitude esperada da variação do processo;
  - ✓ 3 operadores mediram as 10 peças, 2 vezes cada uma;
  - ✓ Aleatorização na sequência das medidas
- Planilha: gageaig.txt

- Estudo do Sistema de Medição do Banco GAGEAIAG :
  - ✓ Sistema de medição contribui pouco com a variação total;
  - ✓ Análise com o método *Xbar* e *R*

Stat > Quality Tools > Gage Study > Gage R&R Study(Crossed)



Gage R&R Study - XBar/R Method

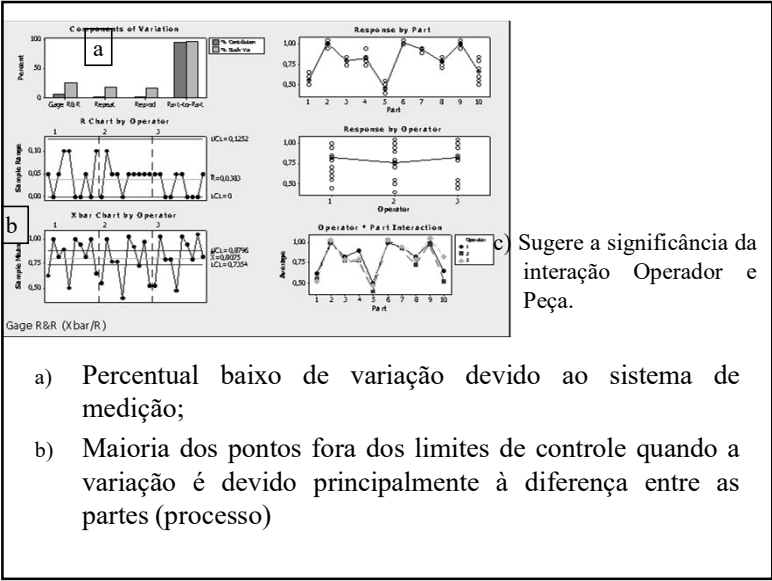
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0020839	6,33
Repeatability	0,0011549	3,51
Reproducibility	0,0009291	2,82
Part-To-Part	0,0308271	93,67
Total Variation	0,0329111	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,045650	0,27390	25,16
Repeatability	0,033983	0,20390	18,73
Reproducibility	0,030481	0,18288	16,80
Part-To-Part	0,175577	1,05346	96,78
Total Variation	0,181414	1,08848	100,00

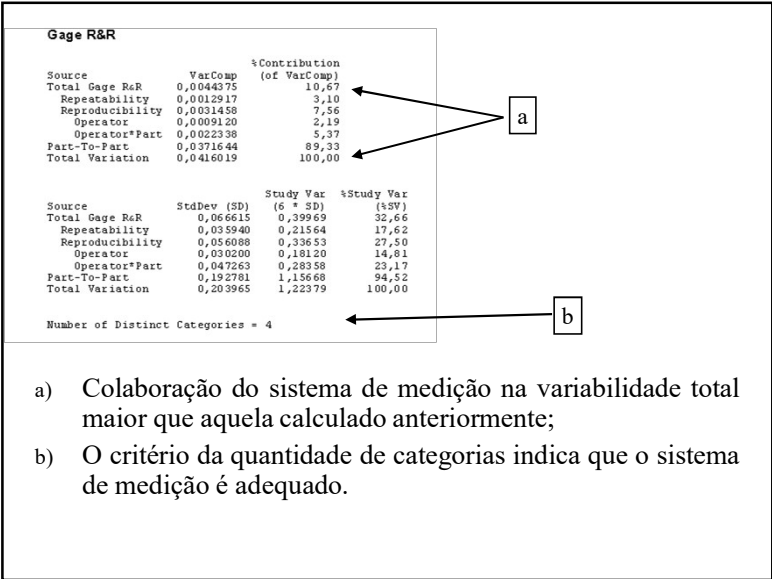
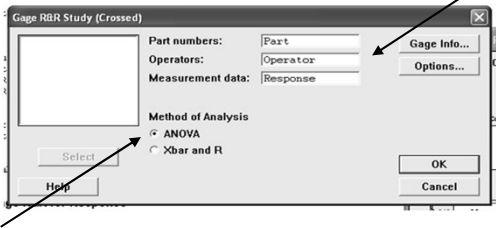
Number of Distinct Categories = 5

- a) Colaboração do sistema de medição na variabilidade total;
- b) O critério da quantidade de categorias indica que o sistema de medição é adequado.



- Estudo do Sistema de Medição – GAGEIAAG:
  - ✓ Sistema de medição contribui pouco com a variação total;
  - ✓ Análise com o método *Anova*

Stat > Quality Tools > Gage Study > Gage R&R Study(Crossed)



- Percentual baixo de variação devido ao sistema de medição;
  - ✓ Maior que a calculado pelo método anterior

Sistema de Medição 2 – GAGE2

- Situação:
  - ✓ A variação do sistema de medição **contribui muito** na variação total;
- Banco de dados:
  - ✓ 3 peças selecionadas, representando a amplitude esperada da variação do processo;
  - ✓ 3 operadores mediram as 3 peças, 3 vezes cada uma;
  - ✓ Aleatorização na sequência das medidas
- Planilha: gage2.txt
  - ✓ Análise com o método *Xbar* e *R*.

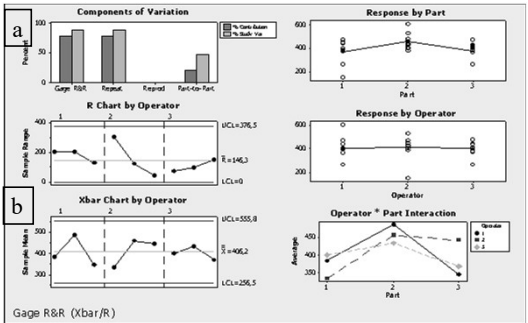
Gage R&R Study - XBar/R Method

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	7229,94	78,11
Repeatability	7229,94	78,11
Reproducibility	0,00	0,00
Part-To-Part	2026,05	21,89
Total Variation	9255,99	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	85,0291	510,174	88,38
Repeatability	85,0291	510,174	88,38
Reproducibility	0,0000	0,000	0,00
Part-To-Part	45,0116	270,070	46,79
Total Variation	96,2081	577,248	100,00

Number of Distinct Categories = 1

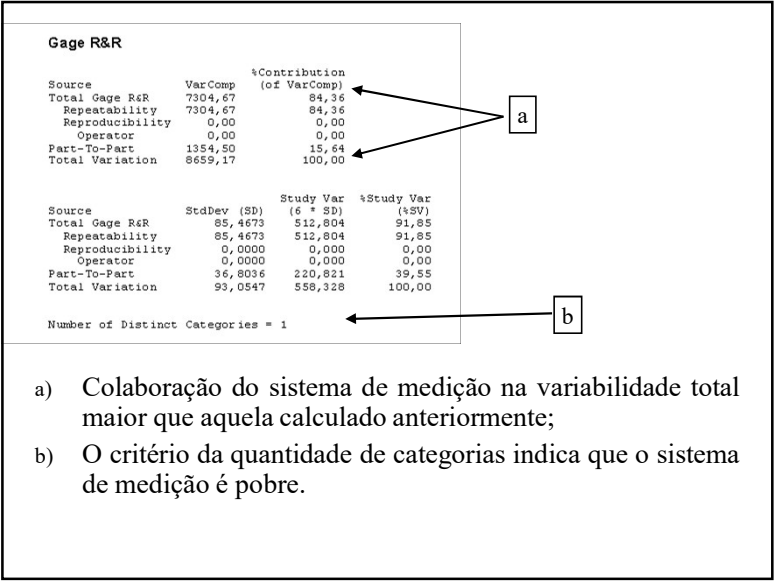
- a) Porcentagem grande de variabilidade dos dados deve-se ao sistema de medição;
- b) Sistema de medição é pobre.
  - ✓ Não consegue distinguir diferenças entre as peças.

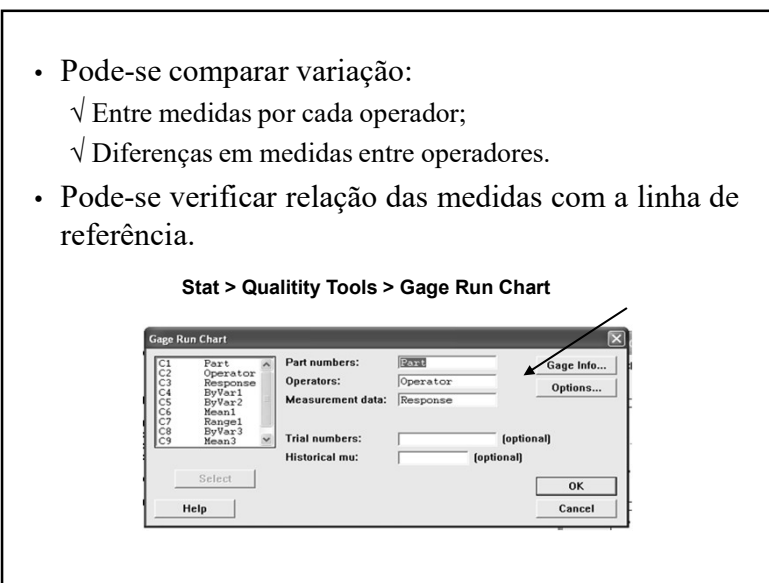
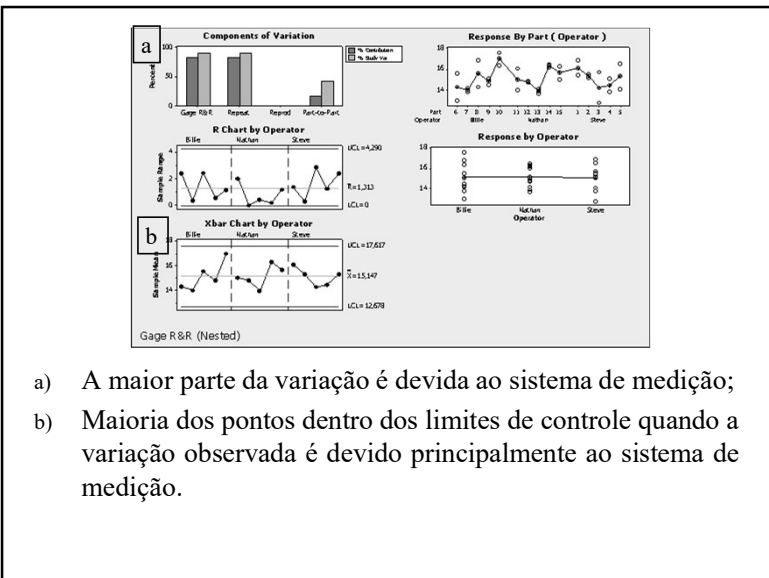


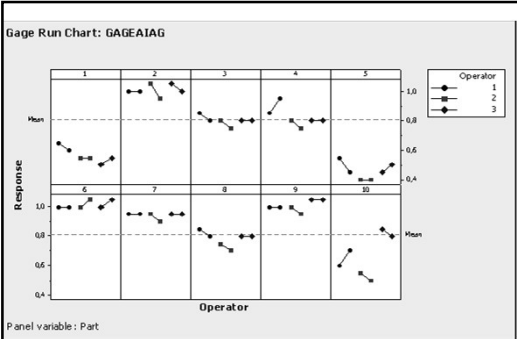
- a) Alta percentagem de variação devido ao sistema de medição, principalmente repetitividade;
- b) Maioria dos pontos dentro dos limites de controle quando a variação observada é devido principalmente ao sistema de medição.

- Estudo do Sistema de Medição do Banco GAGE2:
  - ✓ Sistema de medição contribui pouco com a variação total;
  - ✓ Análise com o método *Anova*



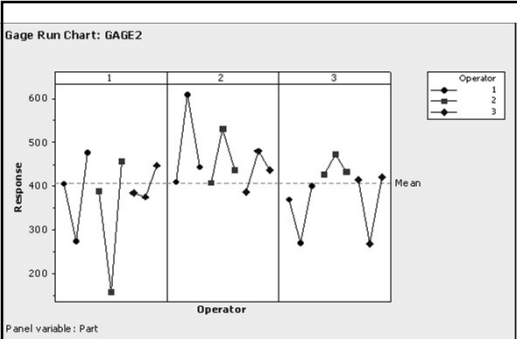






Dados:  
gageaiag.txt

- Maioria das observações deve-se a diferenças entre as peças;
- 2ªs medidas do operador 2 é consistentemente menor que a 1ª (7 em 10)
- Medidas do operador 2 são consistentemente menores que as medidas do operador 1 (8 em 10)



Dados:  
gage2.txt

- Fator dominante é a repetitividade;  
√ Grandes diferenças em medições quando o mesmo operador mede a mesma peça;
- Oscilações sugerem que os operadores estão “ajustando” como eles medem entre as medições.

### Estudo de Linearidade e Vício

- Linearidade: Precisão das medições na faixa esperada de valores:  
√ “Meu instrumento tem a mesma precisão para todos os tamanhos sendo medidos?”
- Vício: Diferença entre as medidas médias observadas e uma referência ou valor padrão:  
√ “Qual a precisão de meu instrumento quando comparado com um padrão?”

### Exemplo

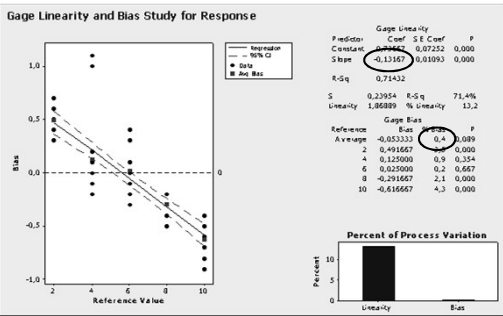
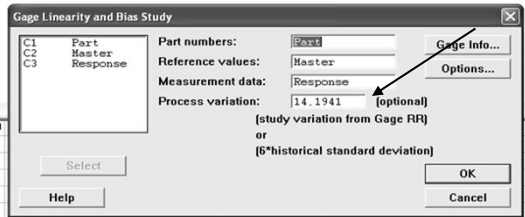
- 5 peças seleccionadas para representar a faixa esperada das medidas;
- Determinado o valor padrão de cada peça;
- Único operador mede aleatoriamente 12 vezes cada peça
- Estudo *Gage R&R* indicou variação do processo igual a 14,1941

### Medidas de Linearidade e Vício

- Linearidade:
  - ✓ Regressão linear dos desvios médios para as medidas padrão
  - ✓  $Linearidade = inclinação \times \sigma_{processo}$
  - ✓ % em relação à variabilidade do processo =  $inclinação \times 100$
  - ✓ Quanto mais próxima de 0 for a inclinação, melhor a linearidade do instrumento.

- Vício:
  - ✓ Média dos desvios de todas as peças com relação a suas medidas padrão
  - ✓ % de vício em relação à variação do processo =  $\frac{desvio\ médio}{\sigma_{processo}}$

Stat > Quality Tools > Gage Linearity and Bias Study



- a) Variação devido a linearidade é 13% da variação global do processo;
- b) Variação devido à precisão é menor que 1% da variação global do processo

### Referências

### Bibliografia Recomendada

- Costa, A. F. B., Epprecht, E. K., Carpinetti, L. C. R. (Atlas)  
*Controle Estatístico de Qualidade*
- Montgomery, D. C. (LTC)  
*Introdução ao Controle Estatístico de Qualidade*