

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 $\sigma_{\text{med.}}^2$.

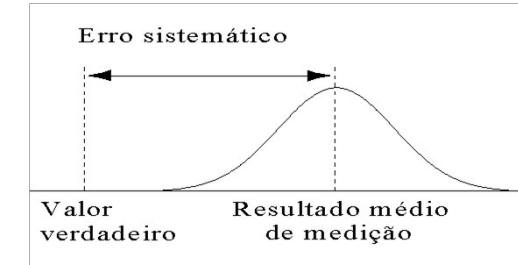
$$\sigma_{\text{processo}}^2 = \sigma_{\text{total}}^2 - \sigma_{\text{medição}}^2$$

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

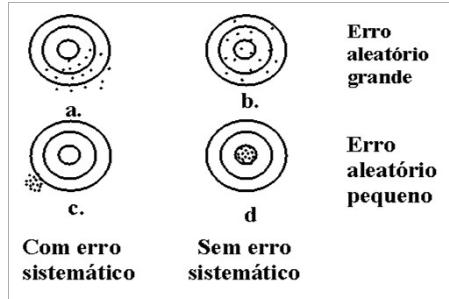
Parcelas do Erro de Medição

- 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.

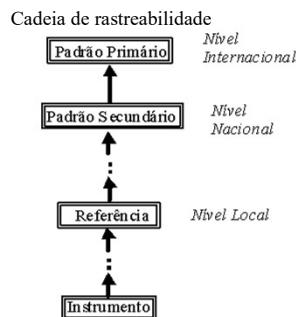
Avaliação do Erro Sistemático

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 α .

Erro Sistemático Relativo

- Porcentagem em relação à variabilidade total

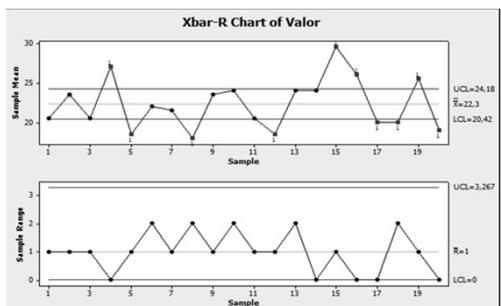
$$\% \text{ erro sistemático} = \frac{\bar{d}}{\hat{\sigma}_{\text{total}}} \times 100$$

- 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:

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

- 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 devida o medidor ser utilizado por diferentes operadores

- Podem ser expressas quantitativamente em função da dispersão dos resultados

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

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:

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

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

• Quanto menores σ_{repe}^2 e σ_{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 σ_{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 σ^2_{repro}

Em geral considera-se a influência de diferentes operadores:

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

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

✓ \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

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

variância total

variância da média amostral de cada operador

- Se há vários operadores, estima-se σ_{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 | 19,962 | 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:

$$\begin{aligned} 6\hat{\sigma}_{\text{repe}} &= 0,00167 = 16,7 \mu\text{m} \\ 6\hat{\sigma}_{\text{repro}} &= 0,00280 = 28,0 \mu\text{m} \end{aligned}$$

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 conterá 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 | 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 | xbarbar | 22,10 | 1,20 | |

- Estimação da Repetitividade

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

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

- No exercício:

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

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

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

- 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:

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

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

✓ 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{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

% R&R

Classificação

$\%R&R \leq 10$ 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

- %R&R alto pode indicar que parte significativa da variação total provém do sistema de medição.

Comentários

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

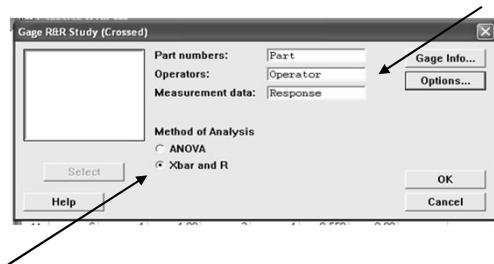
- AIAG (Automobile Industry Action Group):
 - ✓ # categorias < 2: sistema de medição inadequado para controlar o processo
 - Não se pode distinguir uma peça da outra
 - ✓ # categorias = 2 : os dados podem ser distinguidos em dois grupos (Alto e Baixo);
 - ✓ # categorias = 3 : os dados podem ser divididos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

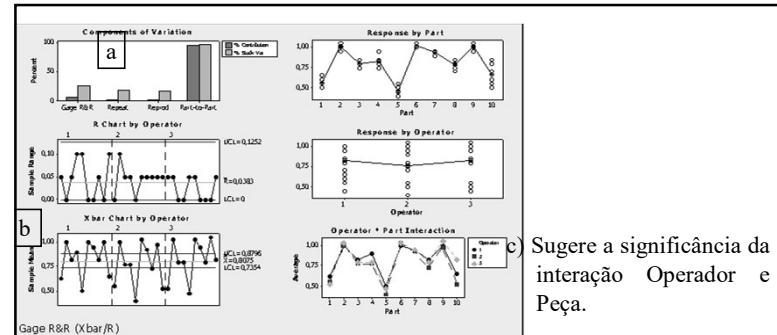


| Gage R&R Study - XBar/R Method | | |
|--------------------------------|-----------|--------------------------------|
| Source | VarComp | \$Contribution (of VarComp) |
| Total Gage R&R | 0,0020839 | 6,33 |
| Repeatability | 0,0011549 | 3,51 |
| Reproducibility | 0,0009291 | 2,82 |
| Part-To-Part |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

| Source | StdDev (SD) | Study Var (6 * SD) | \$Study Var |
|-----------------|-------------|-----------------------|-------------|
| Total Gage R&R | 0,045650 | 0,27390 | 25,16 |
| Repeatability | 0,032983 | 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

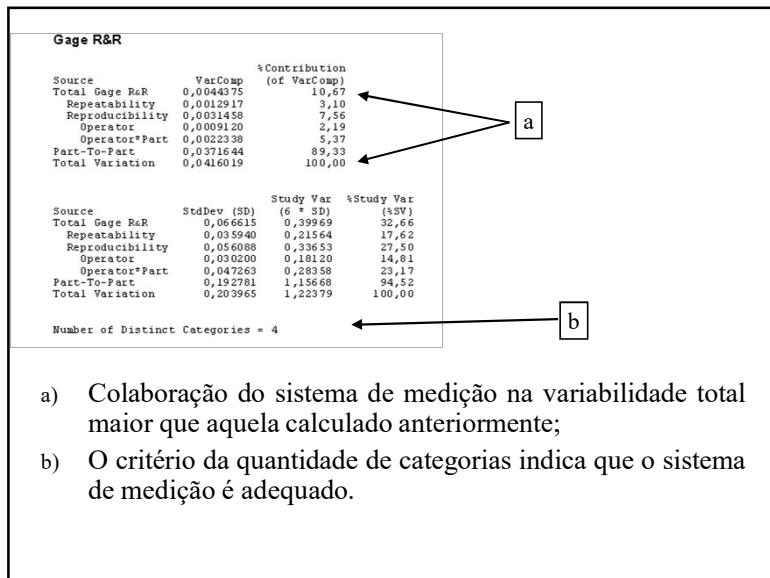
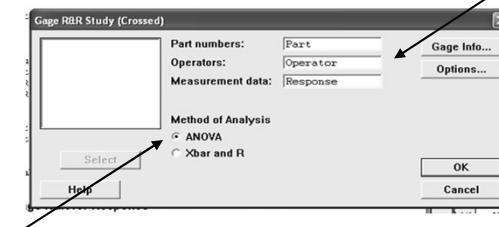
- Colaboração do sistema de medição na variabilidade total;
- O critério da quantidade de categorias indica que o sistema de medição é adequado.



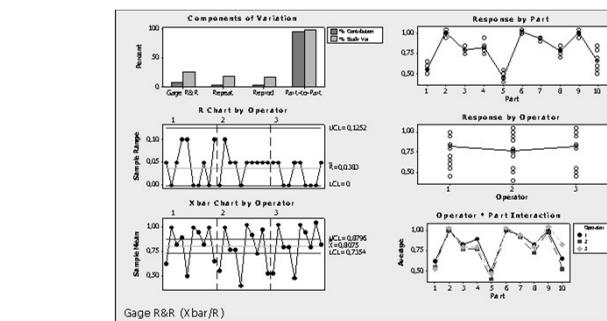
- a) Percentual baixo de variação devido ao sistema de medição;
- b) Maioria dos pontos fora dos limites de controle quando a variação é devido principalmente à diferença entre as partes (processo)

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

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



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



- 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 seqüência das medidas
- Planilha: gage2.txt
 - ✓ Análise com o método *Xbar e R*.

Gage R&R Study - XBar/R Method

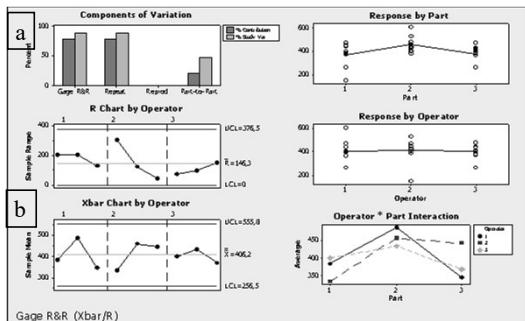
| Source | VarComp | %Contribution (of VarComp) |
|-----------------|---------|-------------------------------|
| Total Gage R&R | 7229,94 | 78,11 |
| Repeatability | 7229,94 | 78,11 |
| Reproducibility | 0,00 | 0,00 |
| Part-To-Part | 2026,05 | 21,89 |
| Total Variation | 9255,99 | 100,00 |

a

| Source | StdDev (SD) | Study Var | %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 |

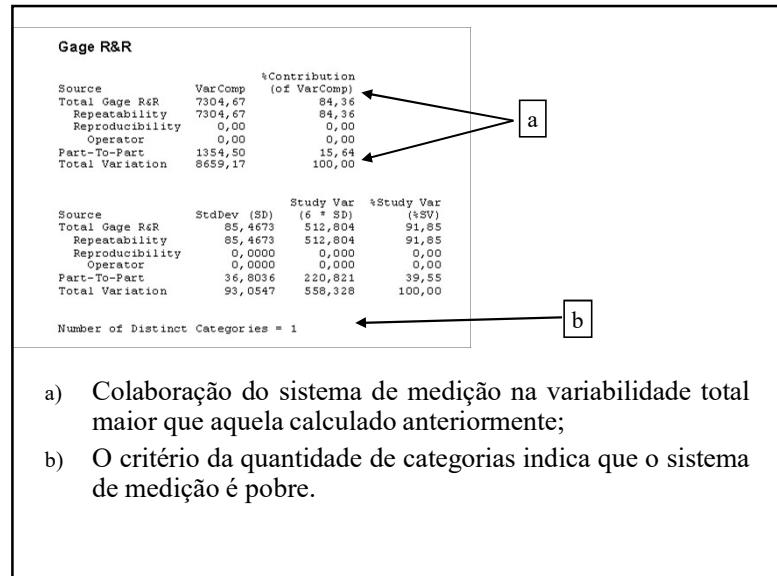
b

- 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.

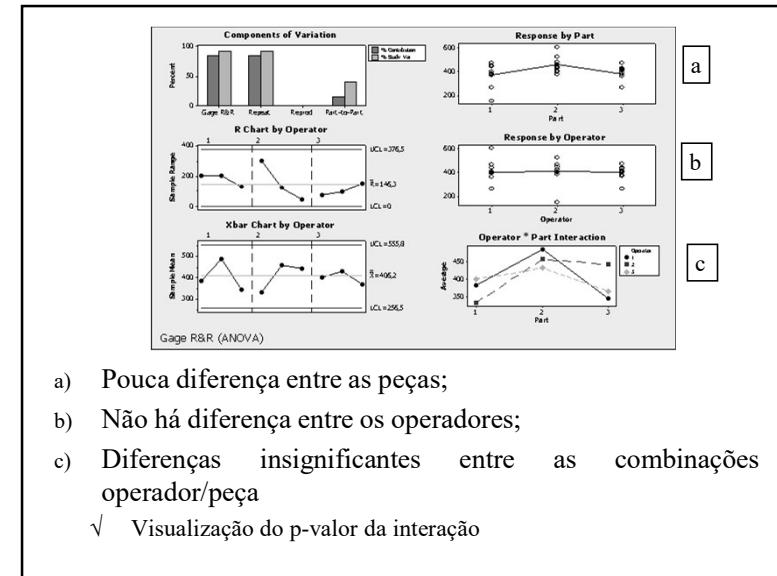


- a) Alta percentagem de variação devido ao sistema de medição, principalmente repetitividade;
- b) Maioria dos pontos dentro dos limites de controle quando a variação observada é devido principalmente ao sistema de medição.

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



- a) Colaboração do sistema de medição na variabilidade total maior que aquela calculado anteriormente;
- b) O critério da quantidade de categorias indica que o sistema de medição é pobre.

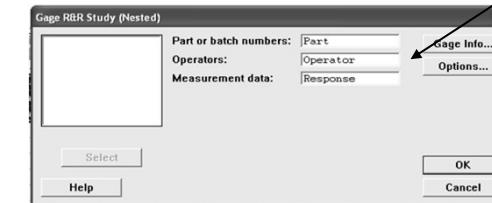


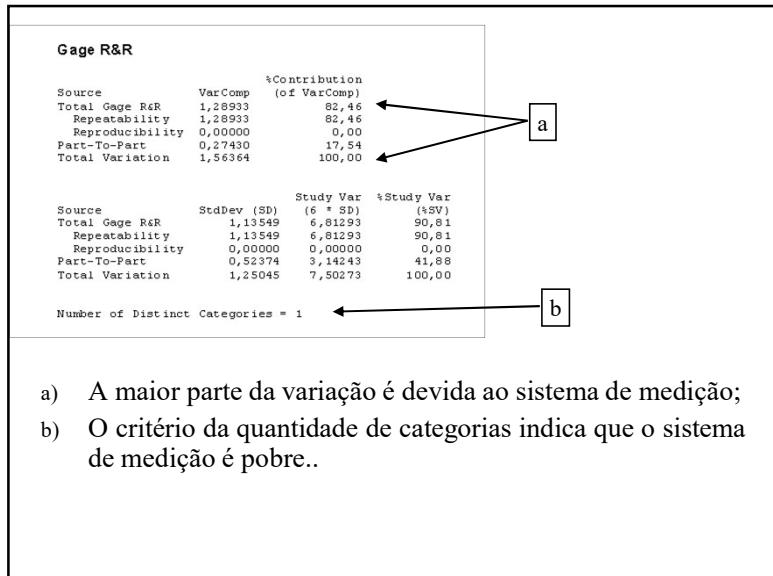
Sistema de Medição 3 – GAGENEST

- Situação:
 - ✓ 30 medições;
 - ✓ 3 operadores mediram as 5 diferentes peças, 2 vezes cada uma;
 - ✓ Dois operadores não mediram a mesma peça
- Planilha: gagenest.txt

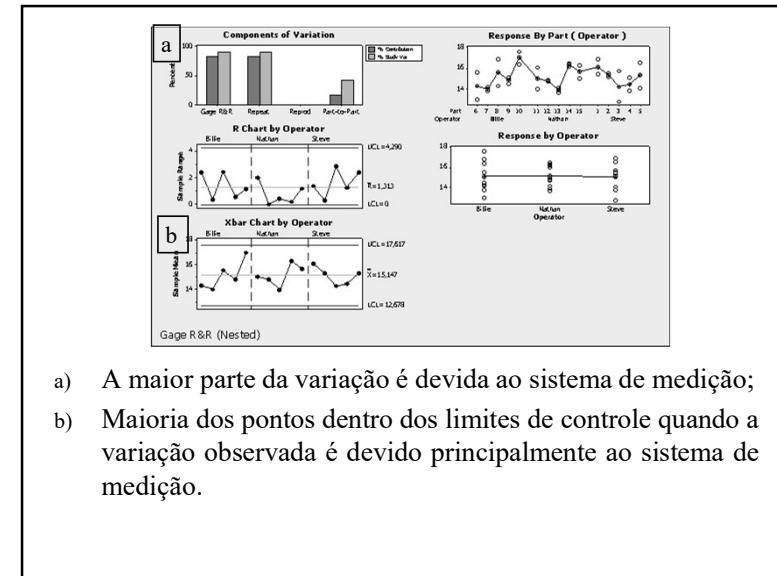
- Estudo do Sistema de Medição do Banco GAGENEST :

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

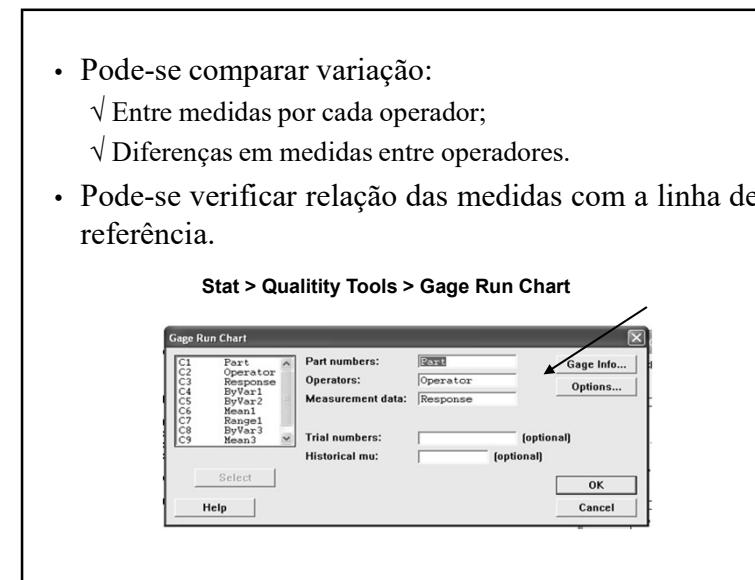
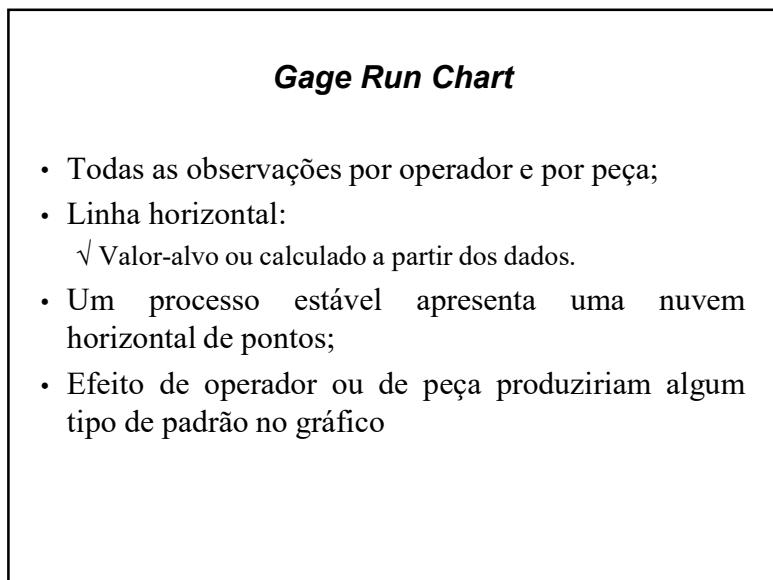


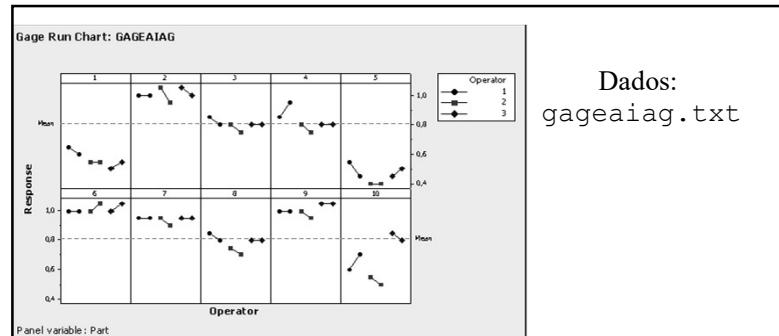


- a) A maior parte da variação é devida ao sistema de medição;
- b) O critério da quantidade de categorias indica que o sistema de medição é pobre..

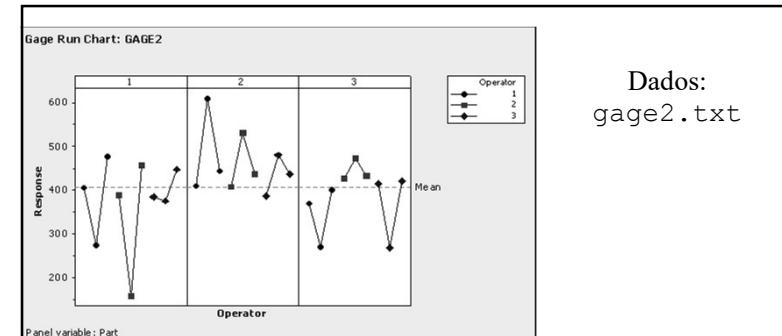


- a) A maior parte da variação é devida ao sistema de medição;
- b) Maioria dos pontos dentro dos limites de controle quando a variação observada é devido principalmente ao sistema de medição.





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



- 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 selecionadas 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

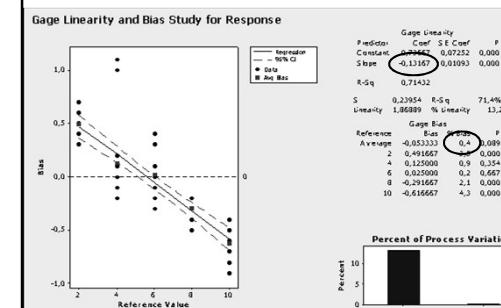
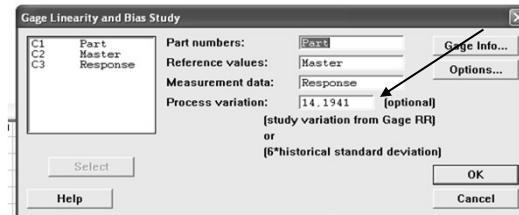
Medidas de Linearidade e Vício

- Linearidade:
 - ✓ Regressão linear dos desvios médios para as medidas padrão
 - ✓ $\text{Linearidade} = \text{inclinação} \times \sigma_{\text{processo}}$
 - ✓ % em relação à variabilidade do processo = inclinação x 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 = $\text{desvio médio} / \sigma_{\text{processo}}$.

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