

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.

$$s_{total}^2 = s_{processo}^2 + s_{medição}^2$$

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

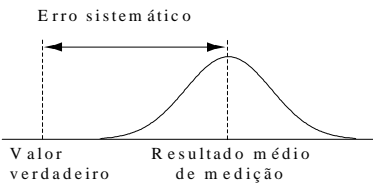
$$s_{processo}^2 = s_{total}^2 - s_{medição}^2$$

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

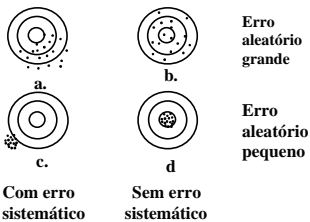
Parcelas do Erro de Medição

- 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.

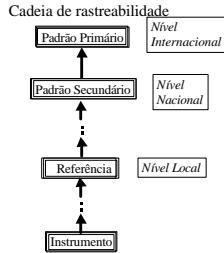
Avaliação do Erro Sistemático

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

$$\% \text{ erro sistemático} = \frac{|\bar{d}|}{\hat{s}_{total}} \cdot 100$$

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

Repetitividade e Reprodutibilidade

Variabilidade na Medição

- Variância total:

$$s_{total}^2 = s_{processo}^2 + s_{medição}^2$$

- 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, de medições sucessivas de um mesmo mensurando, sob as mesmas condições;
- Reprodutibilidade:
√ Grau de concordância entre resultados de medições de um mesmo mensurando efetuadas sob condições variadas de medição
- Podem ser expressas quantitativamente em função da dispersão dos resultados

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:

$$S_{med}^2 = S_{repe}^2 + S_{repro}^2$$

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

• Quanto menores S^2_{repe} e S^2_{repro} 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 conterà 99,73% dos resultados sob condições de repetitividade (sob hipótese de normalidade):

$$\sqrt{6} s_{repe}$$

• Analogamente, a reprodutibilidade pode ser quantificada por:

$$\sqrt{s_{repro}}$$

Procedimento de Estimação de S^2_{repe}

• 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.

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

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

√ Em geral, 2 medidas para a mesma peça.

Procedimento de Estimação de S^2_{repro}

- Em geral considera-se a influência de diferentes operadores:
- \hat{S}_{repro} : desvio-padrão de médias de vários operadores

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

- $\sqrt{\bar{\bar{x}}_{máx}}$: máximo Valor dos resultados médios obtidos por diferentes operadores
- \sqrt{r} : número de vezes que cada item é medido por cada operador;
- \sqrt{n} : número de itens medido

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

variância total

variância da média amostral de cada operador

- Se há vários operadores, estima-se S_{repro} por:

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

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

Índice R & R

- Estimativa da capacidade do sistema de medição:

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

- 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

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 $r = 2$

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

- Cálculo reprodutibilidade: d_2 para $o = 3$

$$R_{\bar{x}} = 20,07935 - 20,0714 = 0,0079$$

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

- Repetitividade e Reprodutibilidade do instrumento:

$$\left. \begin{array}{l} 6\hat{S}_{repe} = 0,0167 = 16,7 \text{ mm} \\ 6\hat{S}_{repro} = 0,0280 = 28 \text{ mm} \end{array} \right\} \text{Faixa que contém 99,73\% dos resultados sob condições de repetitividade e reprodutibilidade}$$

- 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 *mm*

√ se o erro de medição seguir distribuição normal

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

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

- Relação com a variabilidade total do conjunto de dados:

$$\%R\&R = \frac{R\&R}{6\hat{S}_{total}} \cdot 100$$

$$\sqrt{\text{com:}} \quad \hat{S}_{total} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r (X_{ijk} - \bar{\bar{X}})^2}{onr-1}}$$

- √ o : número de operadores
- √ n : número de itens medidos;
- √ r : número de medidas de cada item
- √ \hat{S}_{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&R</i>	<i>Classificação</i>
<i>%R&R = 10</i>	Adequado
$10 = \%R\&R = 30$	Pode ser adequado dependendo da importância da aplicação, do custo do instrumento, etc.
<i>%R&R > 30</i>	Inadequado. Sistema de medição necessita de melhorias

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

Comentários

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

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

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

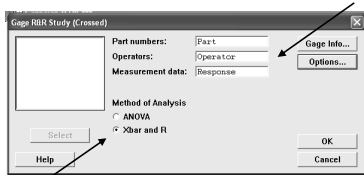
Sistema de Medição 1 – GAGEAIAG

- 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: *gageaiag*

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	0,18298	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.

Sugere a significância da interação Operador e Peça.

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 do Banco 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)

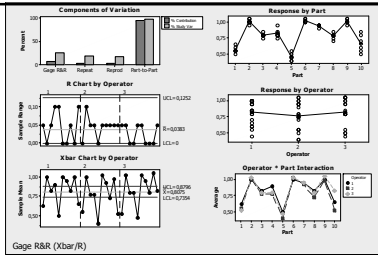
Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0046375	10,07
Repeatability	0,0012917	3,10
Reproducibility	0,0031458	7,56
Operator	0,0020920	2,19
Operator*Part	0,0022338	5,37
Part-To-Part	0,0371644	89,33
Total Variation	0,0416019	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (100%)
Total Gage R&R	0,06615	0,39969	32,66
Repeatability	0,035640	0,21564	17,62
Reproducibility	0,056088	0,33653	27,50
Operator	0,030200	0,18120	14,81
Operator*Part	0,047063	0,28258	23,17
Part-To-Part	0,192781	1,35668	94,52
Total Variation	0,203965	1,22379	100,00

Number of Distinct Categories = 4

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*
 - √ Análise com o método *Xbar* e *R*.

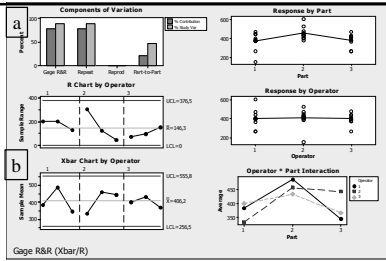
Gage R&R Study - XBar/R Method

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	45.1116	270.670	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 porcentagem 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*

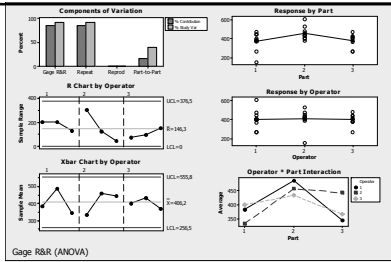
Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	7304,67	84,36
Repeatability	7304,67	84,36
Reproducibility	0,00	0,00
Operator	0,00	0,00
Part-To-Part	1354,58	15,64
Total Variation	8659,17	100,00

Source	StdDev (SD)	(6 * SD)	%Study Var
Total Gage R&R	85,4673	512,804	91,85
Repeatability	85,4673	512,804	91,85
Reproducibility	0,0000	0,000	0,00
Operator	0,0000	0,000	0,00
Part-To-Part	36,8036	220,821	39,55
Total Variation	93,0547	558,328	100,00

Number of Distinct Categories = 1

- 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.



a

b

c

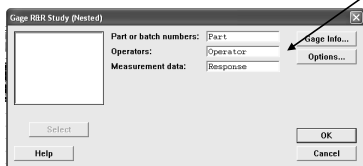
- a) Pouca diferença entre as peças;
 - b) Não há diferença entre os operadores;
 - c) Diferenças insignificantes entre as combinações operador/peça
- √ Visualização do p-valor da interação

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*

- Estudo do Sistema de Medição do Banco GAGENEST :

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



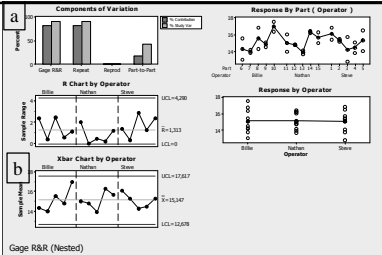
Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	1,28933	82,46
Repeatability	1,28933	82,46
Reproducibility	0,00000	0,00
Part-To-Part	0,27430	17,54
Total Variation	1,56364	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	1,13549	6,81293	90,81
Repeatability	1,13549	6,81293	90,81
Reproducibility	0,00000	0,00000	0,00
Part-To-Part	0,52374	3,14243	41,89
Total Variation	1,25045	7,50273	100,00

Number of Distinct Categories = 1

- 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..



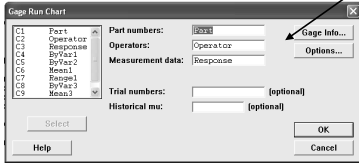
- a) A maior parte da variação é devida ao sistema de medição;
- b) Maioria dos pontos dentro dos limites de controle quando a variação observada é devido principalmente ao sistema de medição.

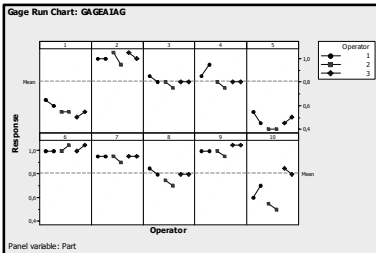
Gage Run Chart

- Todas as observações por operador e por peça;
- Linha horizontal:
 - √ Valor-alvo ou calculado a partir dos dados.
- Um processo estável apresenta uma nuvem horizontal de pontos;
- Efeito de operador ou de peça produziriam algum tipo de padrão no gráfico

- Pode-se comparar variação:
 - √ Entre medidas por cada operador;
 - √ Diferenças em medidas entre operadores.
- Pode-se verificar relação das medidas com a linha de referência.

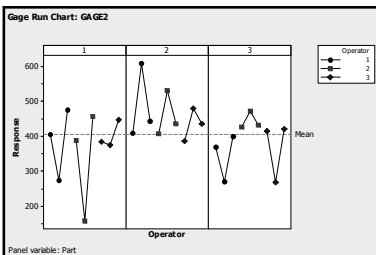
Stat > Quality Tools > Gage Run Chart





Planilha: gageaiag

- 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)



Planilha: gage2

- 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*

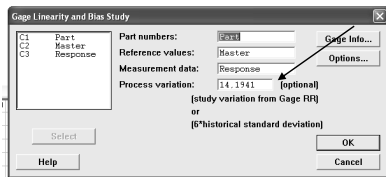
Medidas de Linearidade e Vício

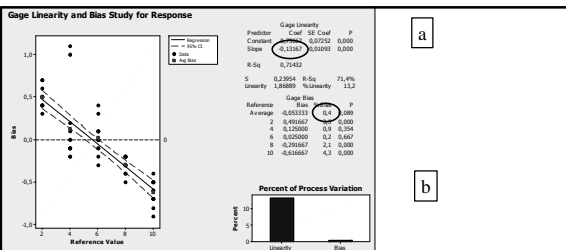
- Linearidade:
 - √ Regressão linear dos desvios médios para as medidas padrão
 - √ $Linearidade = inclinação \times S_{processo}$
 - √ % em relação à variabilidade do processo = $inclinação \times 100$
 - √ Quanto mais próxima de 0 for a inclinação, melhor a linearidade do instrumento.

- **Vício:**

- √ Média dos desvios de todas as peças com relação a suas medidas padrão
- √ % de vício em relação à variação do processo = $\text{desvio médio} / s_{\text{processo}}$

Stat > Quality Tools > Gage Linearity and Bias Study





a

b

- Varição devido a linearidade é 13% da variação global do processo;
- Varição 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
