

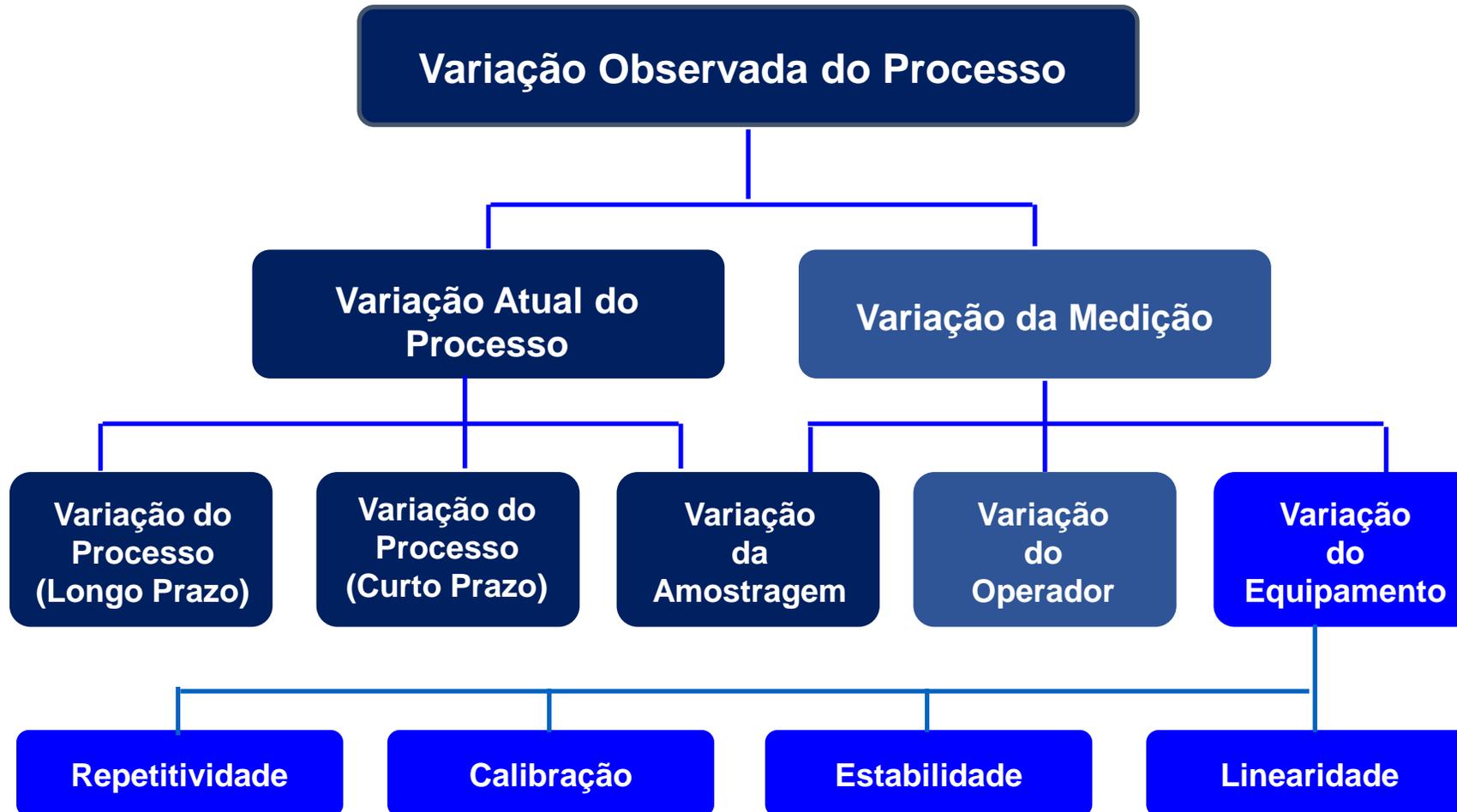


Engenharia de Produção



Engenharia da Qualidade II

Prof. Dr. Fabrício Maciel Gomes

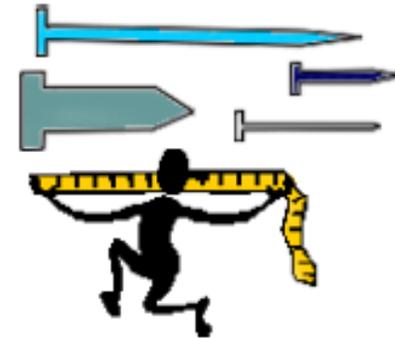


Do que depende a validade da análise do desempenho dos processos industriais?

- Depende da validade dos dados

A que se deve a variação de uma medição extraída de um processo?

- Variação das partes/peças
- Variação natural do processo
- Variação do SM





Análise do Sistema de Medição



A variação do SM pode ser maior que a variação natural do processo ou das parte?

De onde pode vir a variação associada ao SM?

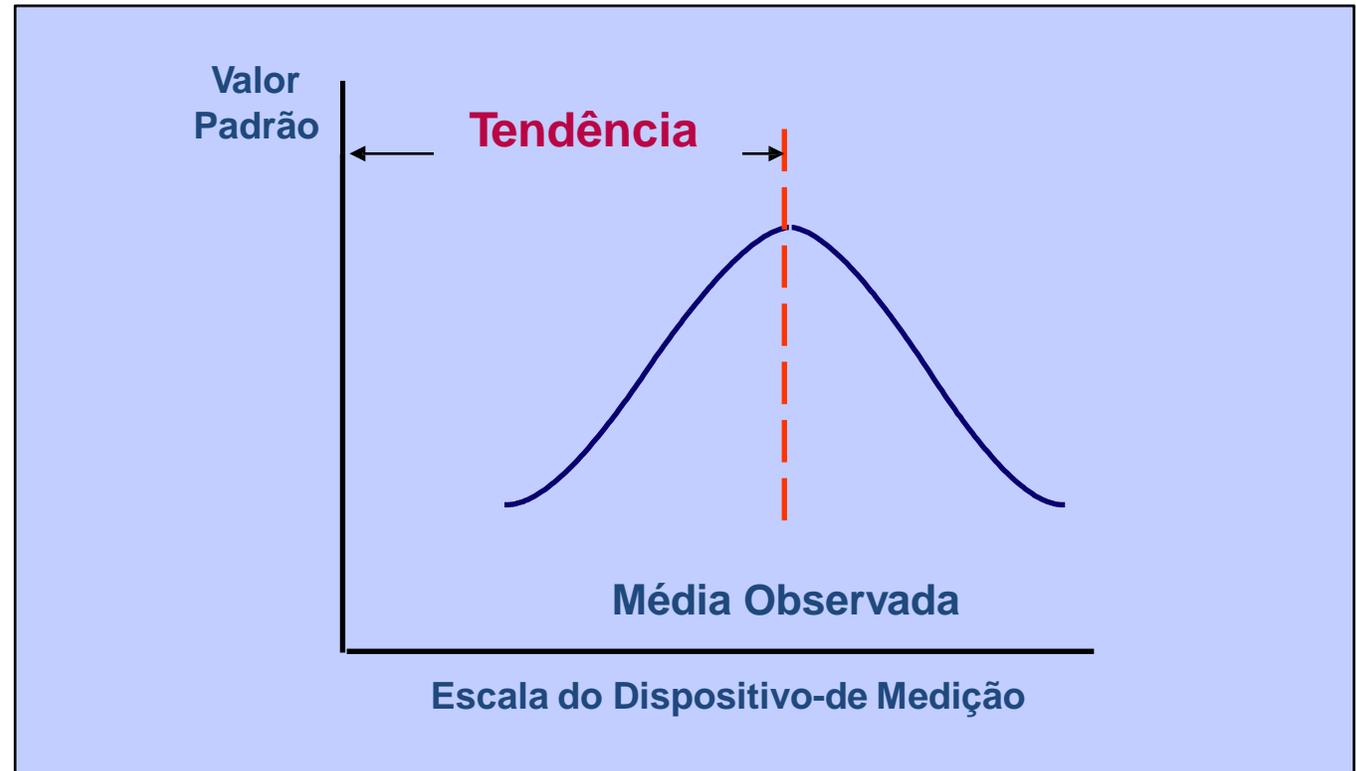
- do equipamento de medição (Instrumento + dispositivo +)
- Instalações
- Treinamento do operador ou técnico
- Método de medição, etc.

O que é analisar a variação associada ao SM?

- Avaliar as propriedades do SM assegurando sua adequabilidade para seu uso pretendido

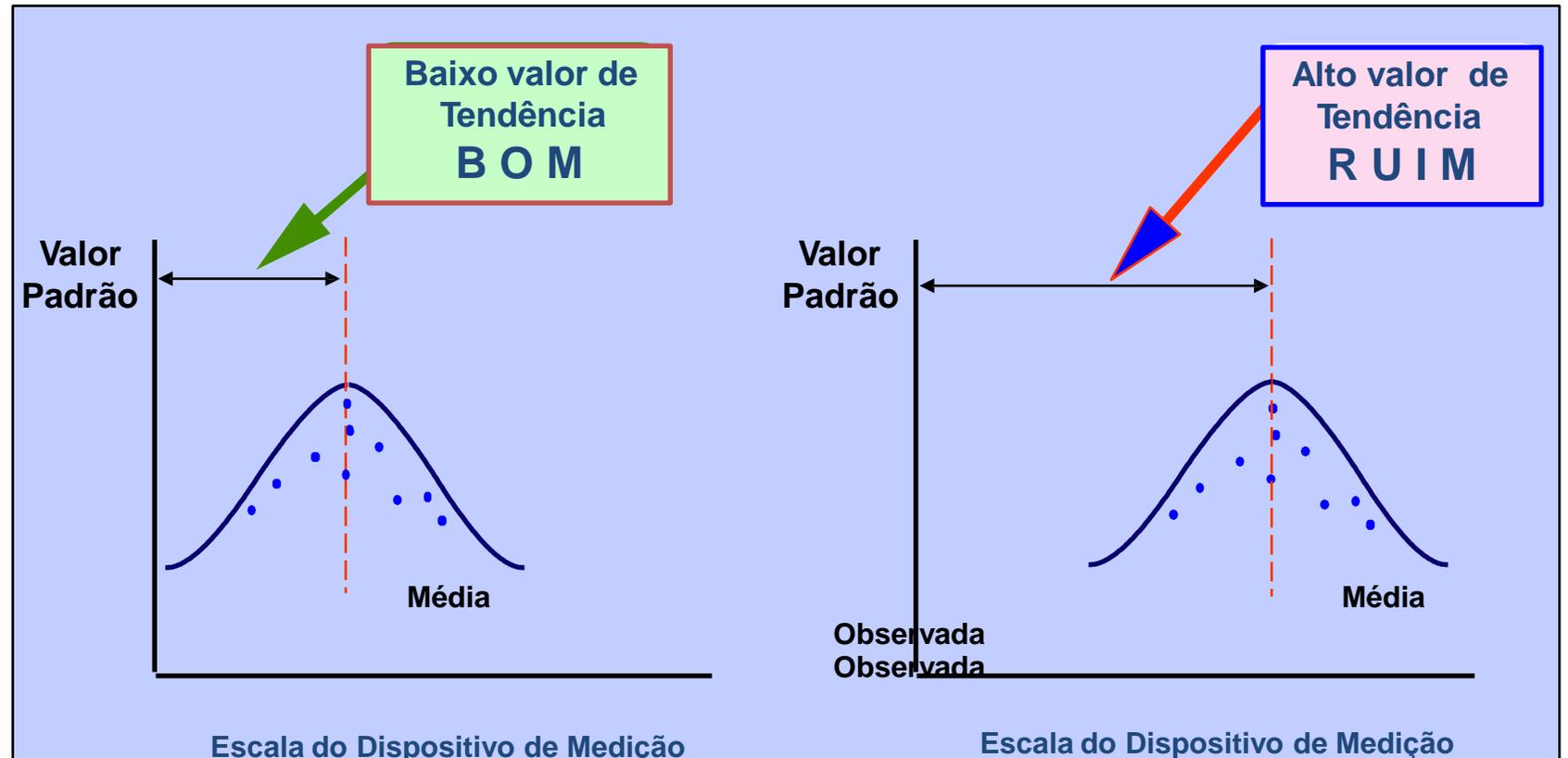
TENDÊNCIA DO DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO

Tendência do dispositivo de medição é a diferença entre a média observada das medições e o valor padrão. O valor padrão pode ser determinado pela média de várias medidas, utilizando o dispositivo de medição de melhor exatidão disponível. (Normalmente o Valor padrão é obtido em um equipamento do laboratório metrológico)



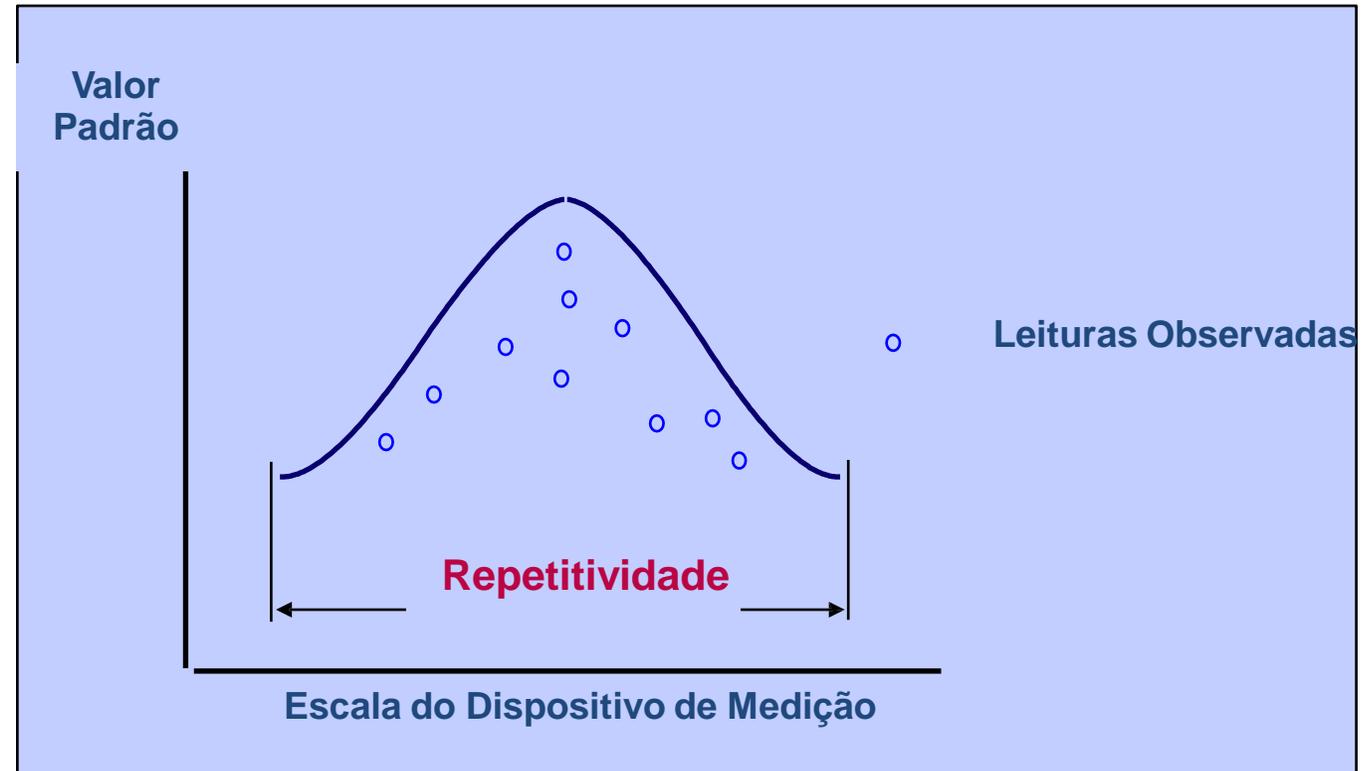
LINEARIDADE DO DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO

Linearidade do dispositivo de medição, é a diferença entre as tendências, ao longo de uma esperada faixa de operação do dispositivo de medição.



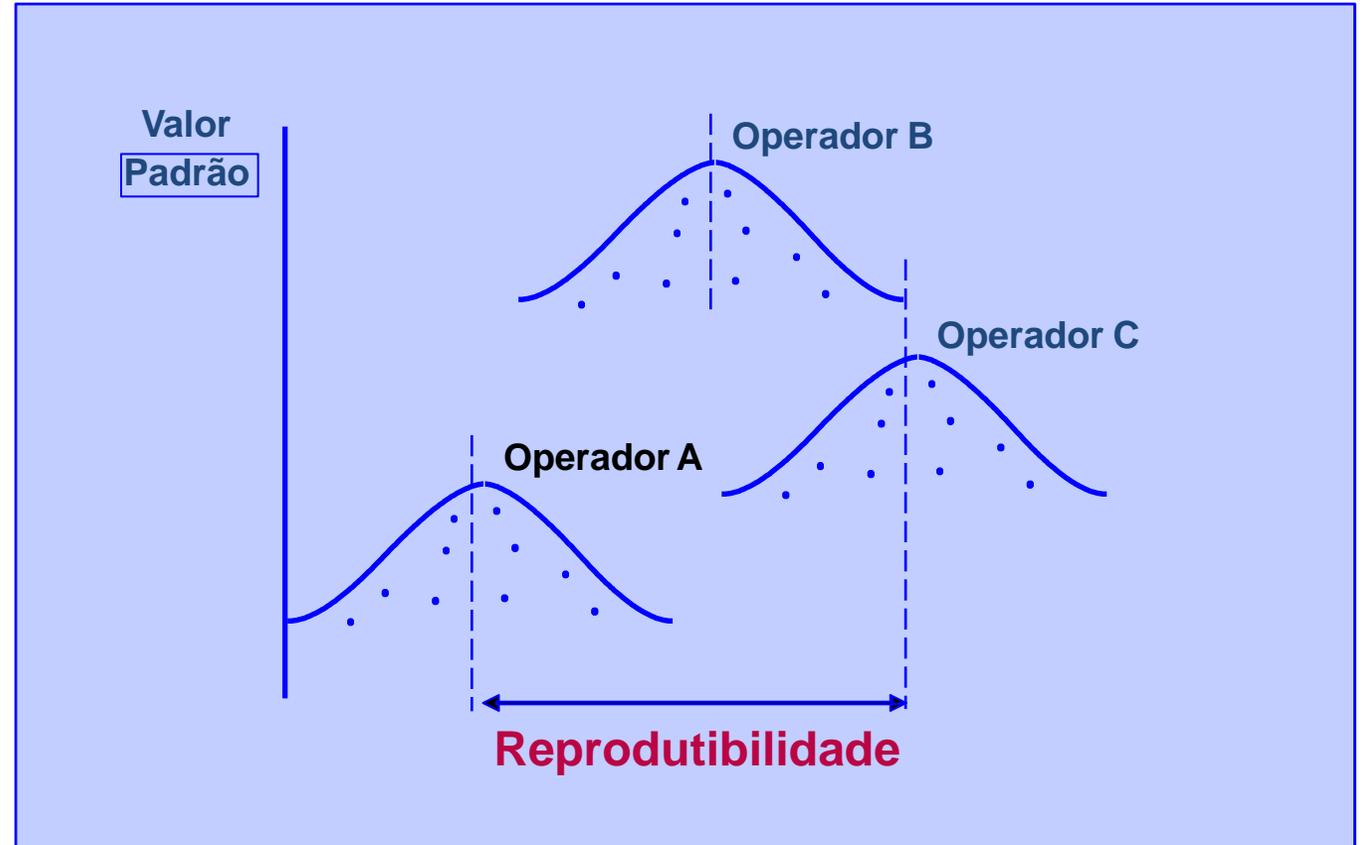
REPETITIVIDADE DO DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO

Repetitividade do dispositivo de medição é a variação na medição obtida com um dispositivo de medição quando usado várias vezes por um mesmo operador medindo características idênticas nas mesmas peças.



REPRODUTIBILIDADE DO DISPOSITIVO DE MEDIÇÃO

Reprodutibilidade do dispositivo de medição é a variação da média das medições feitas por diferentes operadores, utilizando o mesmo dispositivo medindo características idênticas nas mesmas peças.



$$\sigma_{Total}^2 = \sigma_{Processo}^2 + \sigma_{Medição}^2$$

$$\sigma_{Processo}^2 = \sigma_{Total}^2 - \sigma_{Medição}^2$$

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

$$\sigma_{\text{Medição}}^2 = \sigma_{\text{Repetibilidade}}^2 + \sigma_{\text{Reprodutibilidade}}^2$$

$$\sigma_{\text{Repe}} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad \sigma_{\text{Repro}} = \sqrt{\left(\frac{\bar{R}_X}{d_2}\right)^2 - \frac{(\sigma_{\text{Repe}})^2}{n \cdot r}}$$

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

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

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

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



Análise do Sistema de Medição



Exemplo 1: Diâmetro do Bocal da Bomba de Combustível

PROPOSTA

Avaliar como a precisão de um aparelho de medição e do operador afetam a variabilidade do sistema de medição, usando o Gage R&R Study (Crossed).

PROBLEMA

O elaborador de um bocal para bomba de combustível instalou um novo sistema digital de medição. Especialistas da área desejam determinar o quão eficiente é este sistema.



Análise do Sistema de Medição



DADOS COLETADOS

9 bocais foram selecionados aleatoriamente ao longo do início de todos processos que podem provocar algum tipo de variação (máquina, tempo, turno, troca de turno) para representar todos os bocais tipicamente produzidos. Os bocais foram numerados para a identificação das medições de cada um deles. O primeiro operador efetuou as medições em ordem completamente aleatória. Então, os nove bocais foram novamente aleatorizados e um segundo operador efetuou novamente as medições dos mesmos bocais. Este processo foi repetido duas vezes para cada operador, totalizando 36 medições.

NOTA: Para uma boa análise do sistema de medição e inspeção é importante assegurar que a amostra foi obtida de forma aleatória, bem como que as medições efetuadas por cada operador também ocorreram em ordem completamente aleatória.

A especificação para o diâmetro dos bocais é de: 9012 +/- 4 microns (tolerância de oito microns).



Análise do Sistema de Medição



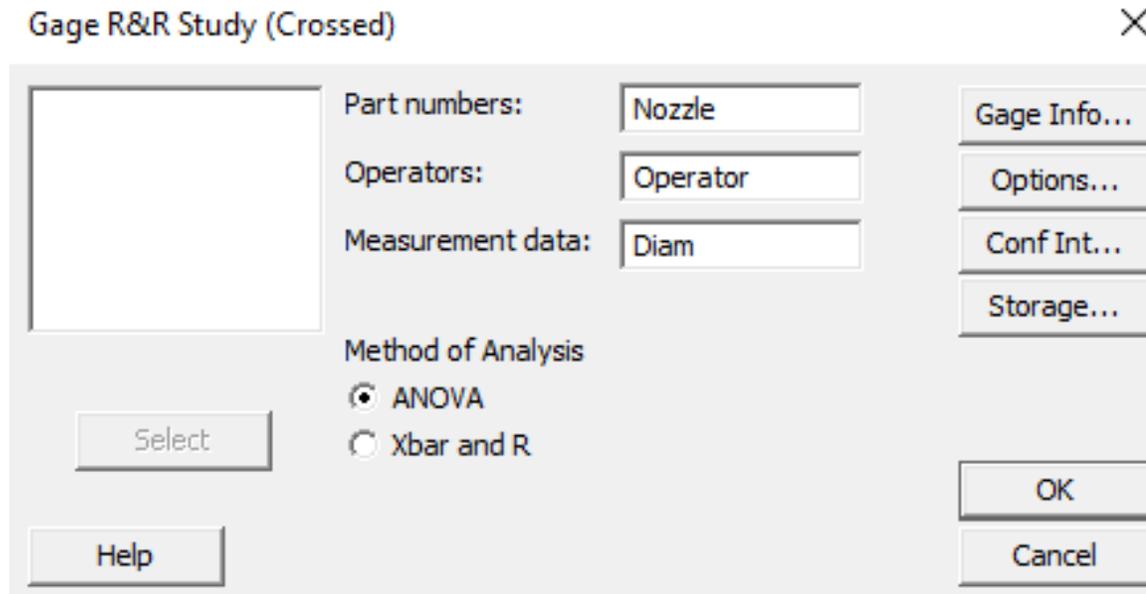
FERRAMENTAS UTILIZADAS

Gage R&RStudy (Crossed).

ARQUIVO DE DADOS: NOZZLE.MPJ

Variável	Descrição
Nozzle	Unidade do bocal que será avaliada
Operator	Operador que efetuou a medição
Run Order	Ordem original do experimento
Diameter	Diâmetro (em microns) do bocal

1. Abra **Nozzle.MPJ**;
2. Selecione **Stat>Quality Tools>Gage Study>Gage R&R Study (Crossed)**;
3. Complete a caixa de diálogo, como mostra a figura a seguir:



4. Clique em **Options**;
5. Complete a caixa de diálogo, como mostra a figura a seguir:

6. Clique em **Ok** em todas as caixas de diálogo .

Gage R&R Study (Crossed): ANOVA Options ✕

Study variation: (number of standard deviations)

Process tolerance

Enter at least one specification limit

Lower spec:

Upper spec:

Upper spec - Lower spec:

Historical standard deviation:

▾

Alpha to remove interaction term:

Display probabilities of misclassification

Do not display percent contribution

Do not display percent study variation

Draw graphs on separate graphs, one graph per page

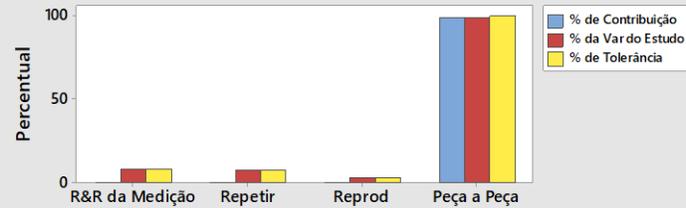
Title:

Relatório de R&R da Medição (Xbarra/R) para Diam

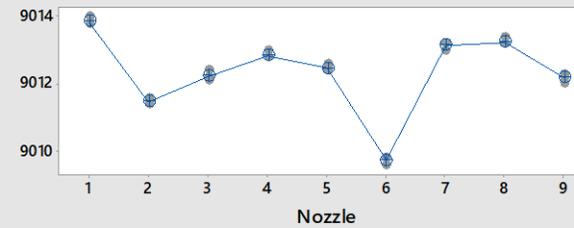
Nome do sistema de medição:
Data do estudo:

Informado por:
Tolerância:
Div:

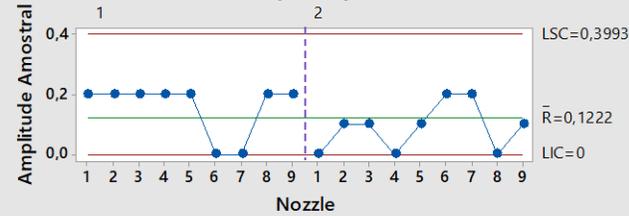
Componentes de Variação



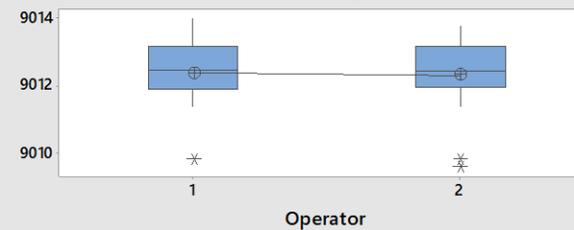
Diam por Nozzle



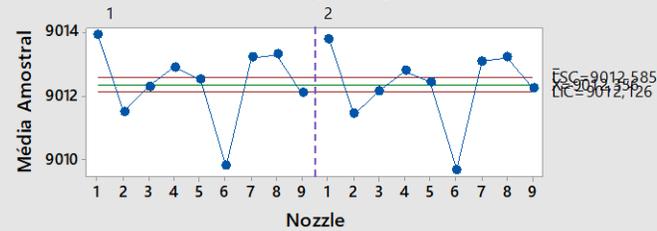
Carta R por Operator



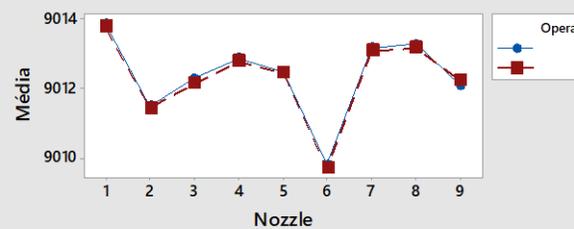
Diam por Operator



Carta Xbarra por Operator



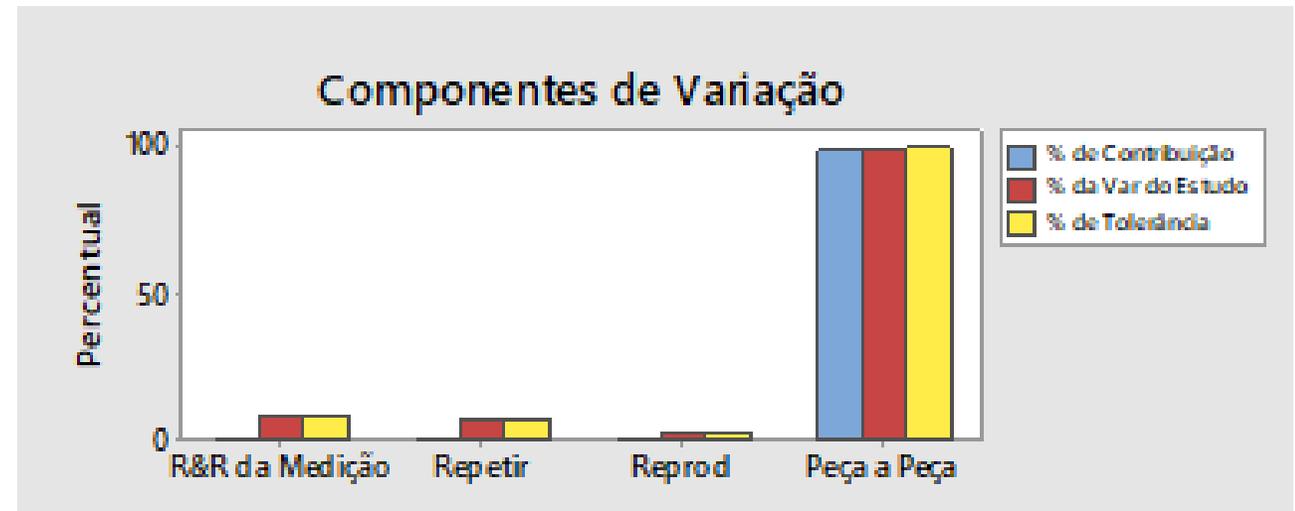
Interação de Nozzle * Operator



COMPONENTES DA VARIAÇÃO

O gráfico Components of Variation representa graficamente os resultados da tabela Gage R&R. Cada grupo de barras representa uma fonte de variação. Por default, cada grupo deve conter duas barras para representar o %Contribution e o StudyVar. Se o usuário informar a tolerância ou o desvio-padrão histórico, barras para o %Tolerance e o %Process também serão emitidos no gráfico.

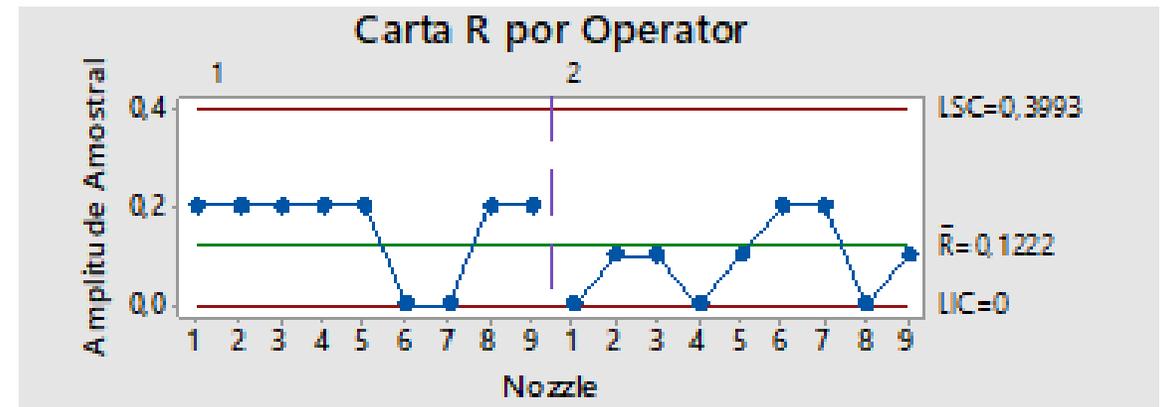
Em um bom sistema de medição, as maiores barras devem ser relacionados a variação natural existente entre os itens (part-to-part). Se ao invés disso, a maior parte da variação for atribuída ao sistema de medição, faz-se necessário a adoção de medidas corretivas.



A CARTA R

Se algum ponto da Carta R cair acima do limite superior de controle (UCL), concluímos que este operador tem grande dificuldade em proceder com as medições de um mesmo item com consistência. O cálculo do UCL leva em consideração o número de vezes que o operador mediu o item. Se os operadores estiverem fazendo as medições de forma consistente, essas amplitudes devem ser pequenas em relação aos dados e os pontos plotados na carta devem estar sob controle estatístico.

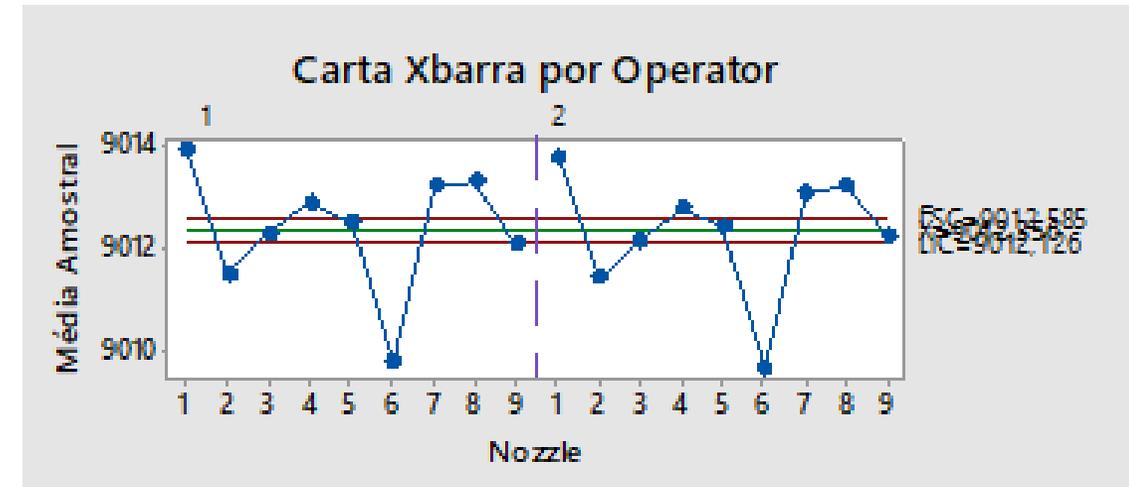
NOTA: A Carta R é emitido pelo MINITAB quando o número de medições para o mesmo item realizadas por cada operador é inferior a nove, caso contrário será



A CARTA Xbar

Este gráfico deve nos mostrar a falta de controle do processo de medição, pois os itens escolhidos para um estudo Gage R&R devem representar todos os tipos possíveis de itens, e é desejável ter uma baixa variação da repetibilidade se comparada com a variação entre os itens (part-to-part).

A falta de controle estatístico existe quando muitos pontos são observados abaixo ou acima dos limites de controle. No exemplo, observamos pontos fora dos limites de controle, o que indica que a variação item-a-item é muito maior que a variação causada pelo sistema de medição. Em outras palavras, na análise do sistema de medição desejamos que a Carta Xbar esteja fora de controle estatístico.

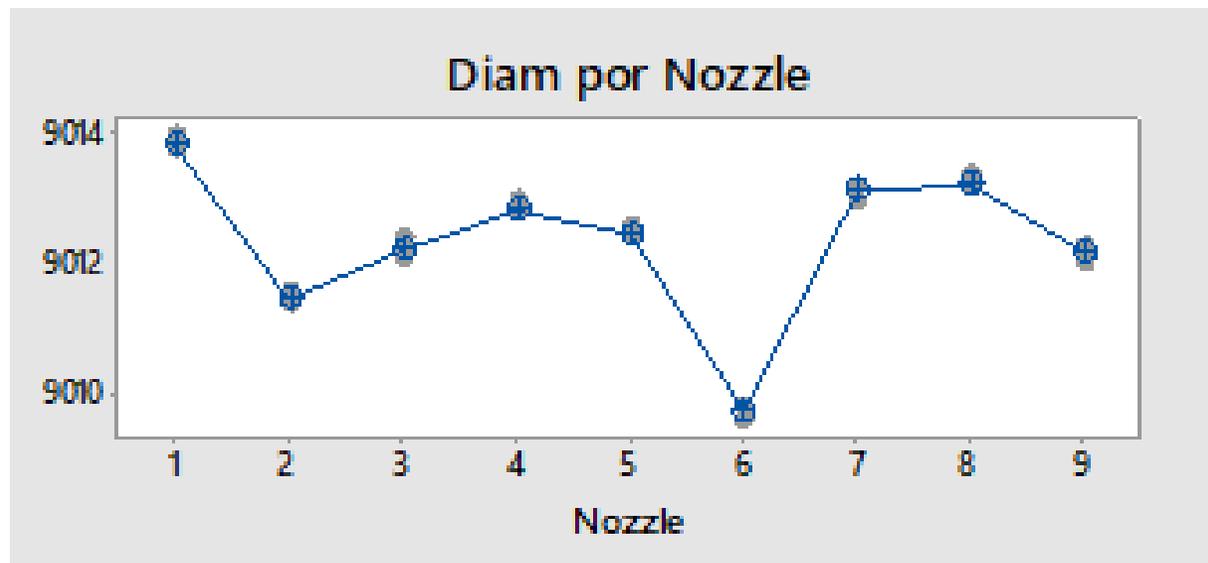


ANÁLISE DA INTERAÇÃO (OPERADOR - ITEM)

O gráfico **Operator Nozzle Interaction** exibe as médias das medições tomadas por cada operador para cada item. Cada linha que conecta as médias para um único operador. Idealmente, as linha e os pontos devem ser coincidentes.

Resultado	Significa ...
As linhas são "idênticas"	Os operadores mensuram os itens de forma similar.
Uma das linhas apresenta resultados muito maiores ou menores que as outras	Um operador está efetuando medições consistentemente maiores ou menores que os demais operadores para os mesmos itens.
As linhas não são paralelas ou se cruzam	A habilidade de um operador em mensurar um item depende de qual item está sendo mensurado (há interação entre operador e item).

No exemplo, observamos que as linhas estão próximas umas das outras, e as diferenças entre os itens são claras. Os operadores parecem estar medindo os itens de forma similar.





Análise do Sistema de Medição



ANÁLISE DAS MEDIÇÕES POR OPERADOR

O gráfico **Diam by Operator** pode nos ajudar a determinar se as medições e a variabilidade são consistentes entre os operadores.

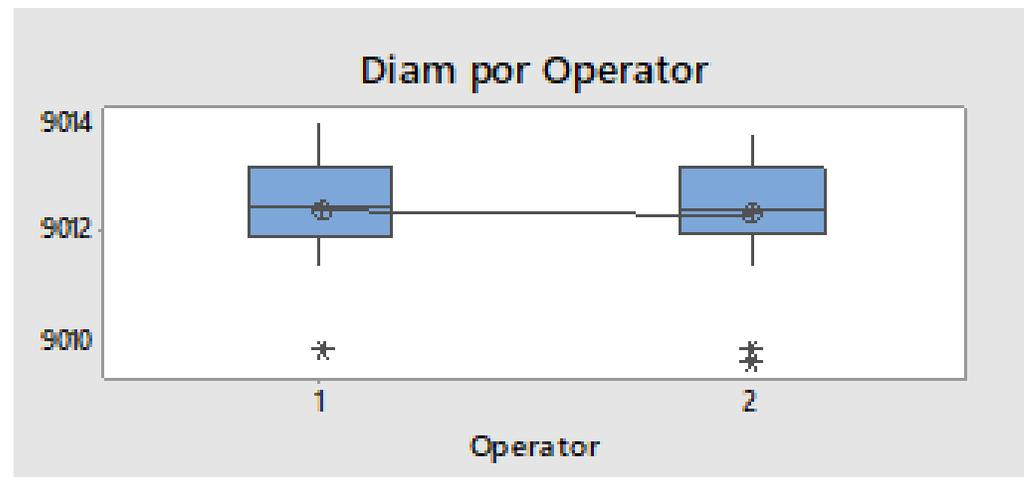
Esse gráfico mostra todas as medições tomadas no estudo estratificadas por operador. Os pontos representam as medições; os círculos pretos representam as médias. A linha conecta as médias das medições para cada operador.

Se a linha for	Então ...
Paralela ao Eixo – X	Em média, os operadores estão medindo os itens de forma similar.
Não Paralela ao Eixo – X	Em média, os operadores estão medindo os itens de forma diferente

Também podemos usar esse gráfico para avaliar se a variabilidade geral nos medições dos itens para cada operador é a mesma:

- A distribuição das medições efetuados ocorre de maneira similar entre os operadores?
- Um operador apresenta maior variação nos medições em comparação com os outros?

No exemplo, observamos que os operadores procederam com as medições de maneira semelhante tanto na média, quanto na variação dos itens.

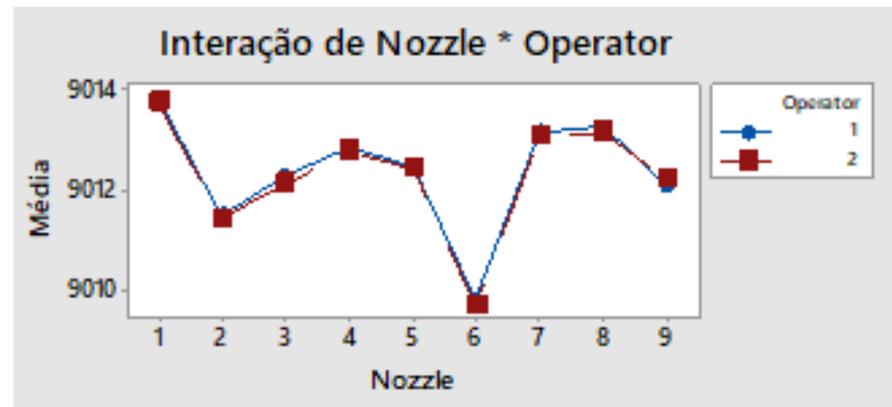


ANÁLISE DAS MEDIÇÕES DE ACORDO COM O ITEM

O gráfico **Diam by Nozzle** mostra todas as medições tomadas no estudo, estratificadas pelos itens. As medições estão representadas pelos círculos vazios, - as médias pelos círculos preenchidos. A linha conecta as medições médias de cada item.

Idealmente:

- Múltiplas medições para o mesmo item têm pouca variação (os círculos vazios para cada item estarão bem próximos).
- As médias irão variar o suficiente para que as diferenças entre os diferentes itens estejam claras.





Análise do Sistema de Medição



TABELA DE ANALISE DE VARIANCIA

O MIINITAB usa a metodologia de Análise de Variância (ANOVA) para calcular a variância dos componentes, que é usada para estimar o percentual de variação devido ao sistema de medição. O percentual de variação é emitido na tabela Gage R&R.

A tabela Two-WayANOVA para duas fontes de variação inclui o termo para a fonte de variação do item (Nozzle), operador (Operator) e da interação entre item e o operador (Nozzle * Operator).

Se o P-Value (P-Valor) para a interação for maior ou igual a 0,25, o MIINITAB gera uma segunda tabela de ANOVA, omitindo o termo de interação do modelo. Para alterar o default do MINITAB, que assume uma taxa para o erro tipo I igual a 0,25, clique em Options e entre com o novo valor (por exemplo: 0,3).

Neste exemplo, o P-Valor para Nozzle*Operator é 0,707. Portanto, o MIINITAB removeu o termo de interação do modelo e gerou uma segunda tabela de ANOVA.

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Nozzle	8	46,1489	5,76861	769,148	0,000
Operator	1	0,0400	0,04000	5,333	0,050
Nozzle * Operator	8	0,0600	0,00750	0,675	0,707
Repeatability	18	0,2000	0,01111		
Total	35	46,4489			

α to remove interaction term = 0,05

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,10801	0,64807	8,97	8,10
Repeatability	0,10000	0,60000	8,30	7,50
Reproducibility	0,04082	0,24495	3,39	3,06
Operator	0,04082	0,24495	3,39	3,06
Part-To-Part	1,19986	7,19913	99,60	89,99
Total Variation	1,20471	7,22824	100,00	90,35

CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

A seguir apresentamos o guia da AIAG para um sistema de medição aceitável.

%Tolerance %StudyVar	%Contribuição	O sistema é...
< 10%	< 1%	Aceitável
10% - 30%	1% - 9%	Marginal
> 30%	> 9%	Inaceitável

Resultados desejáveis de serem observados na análise gráfica para estudo da variação do sistema de medição:

Gráfico	Resultado
Carta R	Baixa variabilidade entre as amplitudes médias
Carta \bar{X}	Carta fora de controle com grande parte dos pontos das amplitudes médias fora dos limites de controle
By part	Valores muito similares entre os operadores e variação entre os itens natural do processo
By operator	Valores muito similares para as medições de um mesmo item (pontos vazios muito próximos) e variação entre os itens (linha vermelha) natural do processo
Operator by part	Linhas semelhantes



Análise do Sistema de Medição



Exemplo 2: Espessura do Stillcord

PROPOSTA

Identificar problemas no sistema de medição, usando o Estudo Cruzado da Medição R&R (Gage R&R Study) e um Gráfico de Colunas Emparelhadas.

PROBLEMA

Um produtor de pneus de bicicletas BMX está avaliando o sistema de medição utilizado para mensurar a espessura do stillcord. O stillcord é introduzido no interior dos pneus para protegê-lo de perfurações. A tolerância para a espessura do stillcord é de 0,05 mm. O desvio padrão do processo é de 0,078 mm.



Análise do Sistema de Medição



DADOS COLETADOS

Uma amostra aleatório de 10 stillcords foi extraído do processo de produção para este estudo. Os itens foram mensurados por três operadores diferentes, e cada operador mensurou o mesmo item duas vezes, totalizando em 60 leituras. Os itens foram fornecidos para cada operador em ordem aleatória.

FERRAMENTAS UTILIZADAS

- Gage R&R Study (Crossed).
- Gage Run Chart

ARQUIVO DE DADOS: RIMSTRIRMPJ



Análise do Sistema de Medição



TOLERÂNCIA

A tolerância para a espessura dos itens é de 0,5mm. Entre com o valor da tolerância para comparar a variação do sistema de medição com as especificações do cliente ($USL - LSL = \text{Tolerance}$).

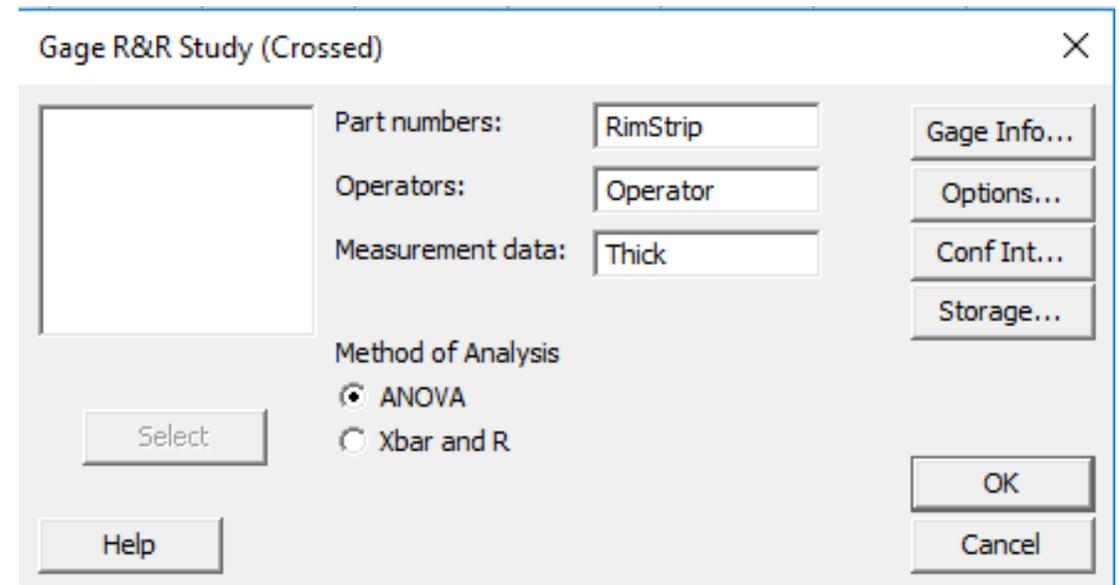
VARIAÇÃO HISTÓRICA DO PROCESSO

Se forçarmos a obtenção de uma amostra que reflita a variação típica do processo, a variação part-to-part estimada para o processo poderá não refletir a variação natural do processo, retornando valores superestimados ou subestimados devido a amostra ter sido obtida com vício. Como resultado, seu sistema poderá aparentar ser melhor (ou pior) do que realmente o é.

Neste caso, a estimativa da variação histórica do processo nos é bastante Útil. Com ela, o MINITAB calcula o %Process que compara a variação do sistema de medição com a variação histórica do processo.

GAGE R&RSTUDY (CROSSED)

1. Abra o arquivo **Rimstrip.MPJ**
2. Escolha **Stat > Quality Tools > Gage Study > Gage R&RStudy (Crossed)**;
3. Complete a caixa de dialogo, como mostramos ao lado:
4. Clique em **Options**;
5. Em **Upper spec - Lower spec**, digite 0,5;
6. Em **Historical standard deviation**, digite 0,078,-
7. Clique em **OK** em todas as caixas de diálogo.



Gage R&R Study (Crossed)

Part numbers: RimStrip

Operators: Operator

Measurement data: Thick

Method of Analysis

ANOVA

Xbar and R

Select

Help

Gage Info...

Options...

Conf Int...

Storage...

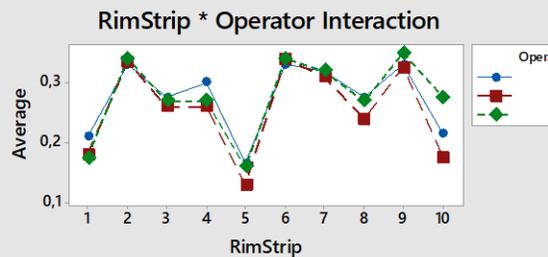
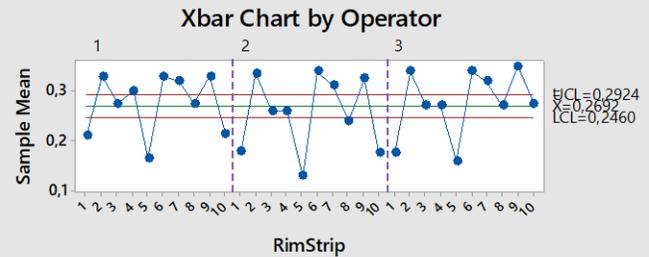
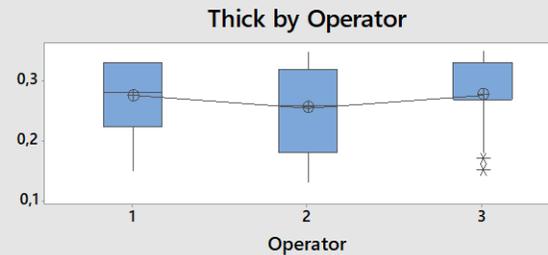
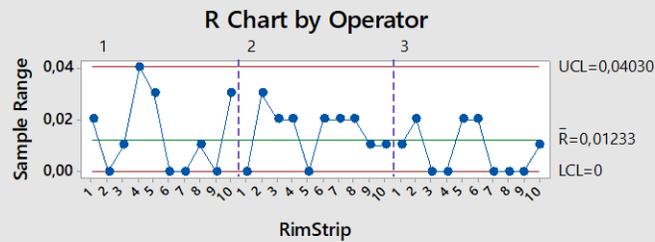
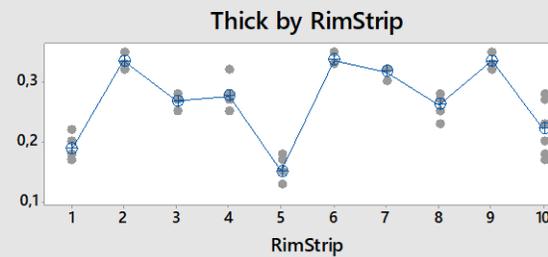
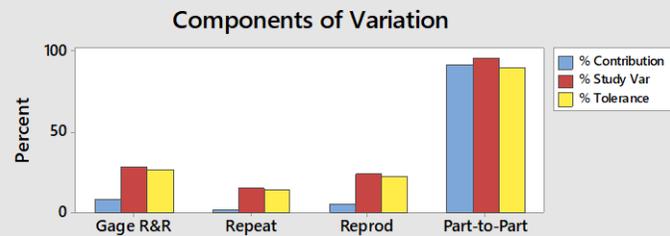
OK

Cancel

Gage R&R (ANOVA) Report for Thick

Gage name:
Date of study:

Reported by:
Tolerance:
Misc:



Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
RimStrip	9	0,229142	0,0254602	38,7609	0,000
Operator	2	0,005643	0,0028217	4,2957	0,030
RimStrip * Operator	18	0,011823	0,0006569	4,6366	0,000
Repeatability	30	0,004250	0,0001417		
Total	59	0,250858			

α to remove interaction term = 0,05

Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0005075	8,34
Repeatability	0,0001417	2,33
Reproducibility	0,0003658	6,01
Operator	0,0001082	1,78
Operator*RimStrip	0,0002576	4,23
Part-To-Part	0,0055765	91,66
Total Variation	0,0060840	100,00

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,0225278	0,135167	28,88	27,03
Repeatability	0,0119024	0,071414	15,26	14,28
Reproducibility	0,0191268	0,114761	24,52	22,95
Operator	0,0104039	0,062423	13,34	12,48
Operator*RimStrip	0,0160497	0,096298	20,58	19,26
Part-To-Part	0,0746760	0,448056	95,74	89,61
Total Variation	0,0780000	0,468000	100,00	93,60

Historical standard deviation is used to calculate some values for StdDev, Study Var, and %Study Var.

Values for %Process are not displayed because they are identical to values for %Study Var.

GAGE RUN CHART

- 1, Escolha **Stat > Quality Tools > Gage Study > Gage Run Chart**,
- 2 . Complete a caixa de diálogo, como mostramos abaixo:
3. Clique em OK.

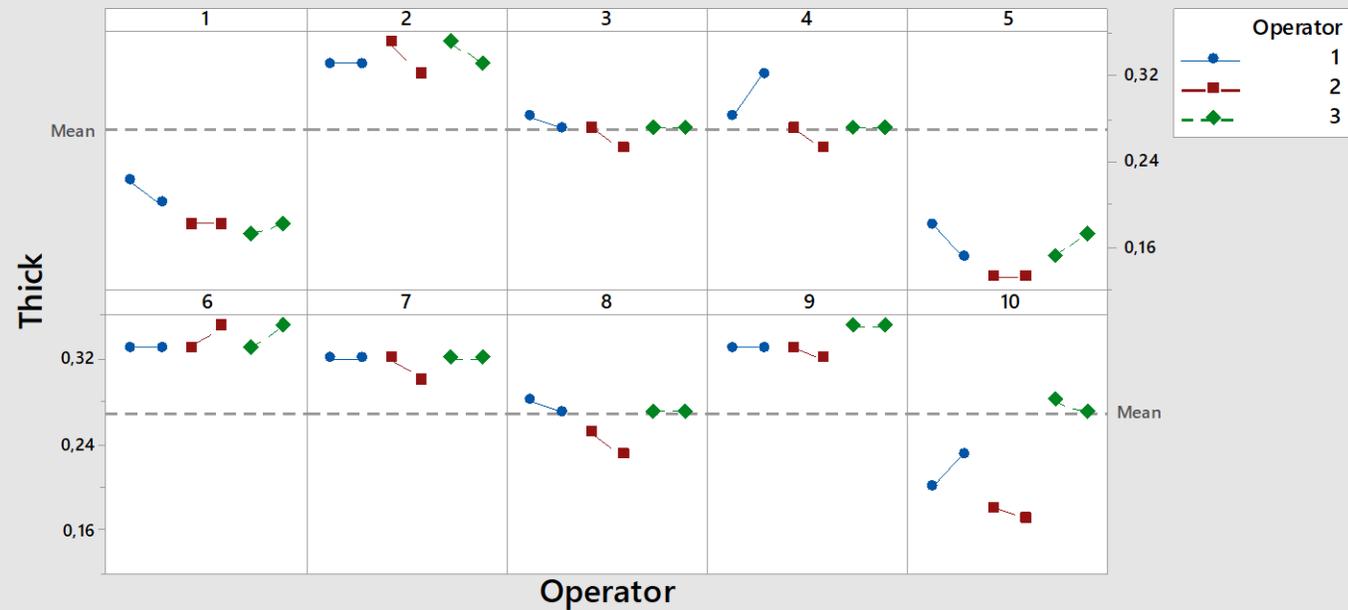
Gage Run Chart

C1 RimStrip	Part numbers:	<input type="text" value="RimStrip"/>	<input type="button" value="Gage Info..."/>
C2 Operator	Operators:	<input type="text" value="Operator"/>	<input type="button" value="Options..."/>
C3 Run Order	Measurement data:	<input type="text" value="Thick"/>	
C4 Thick	Trial numbers:	<input type="text" value=""/>	(optional)
	Historical mean:	<input type="text" value=""/>	(optional)

Gage Run Chart of Thick by RimStrip, Operator

Gage name:
Date of study:

Reported by:
Tolerance:
Misc:



Panel variable: RimStrip



Análise do Sistema de Medição



Exemplo 3: Resistência do componente cerâmico

PROPOSTA

Identificar possíveis problemas no sistema de medição, usando o Estudo Cruzado da Medição R&R (Gage R&R Study).

PROBLEMA

Uma empresa 'produz artefatos cerâmicos que tem como principal característica da qualidade sua resistência ao impacto. A empresa deseja estabelecer se o sistema de medição atual é adequado ou não.



Análise do Sistema de Medição



DADOS COLETADOS

Um engenheiro seleciona aleatoriamente 30 amostras que representam a faixa esperada de variação do processo e dá 10 amostras aleatórias a 3 operadores selecionados aleatoriamente. Os 3 operadores medem a temperatura das 10 amostras diferentes duas vezes, totalizando 60 medições. Cada peça (amostra) é exclusiva para o operador, dois operadores não mediram a mesma peça.

FERRAMENTAS UTILIZADAS

- Gage R&R Study (Nested).

ARQUIVO DE DADOS: Componente Cerâmico.MPJ

GAGE R&RSTUDY (CROSSED)

1. Abra o arquivo **Componente Ceramico.MPJ**
2. Escolha **Stat > Quality Tools > Gage Study > Gage R&RStudy (Nested)**;
3. Complete a caixa de dialogo, como mostramos ao lado:
4. Clique em **OK** em todas as caixas de diálogo.

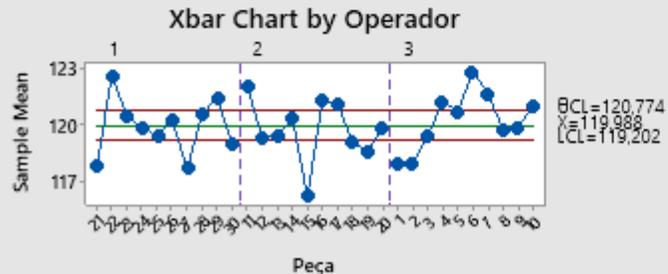
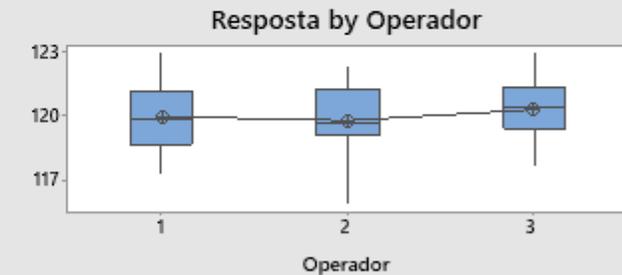
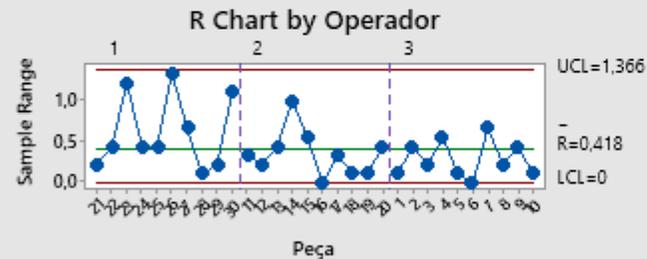
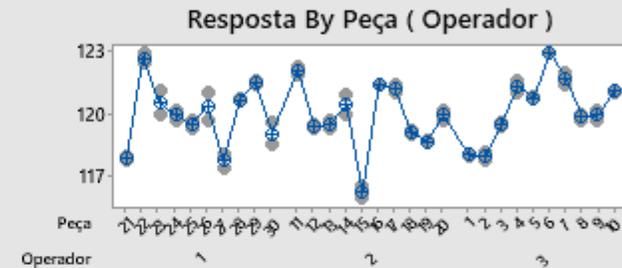
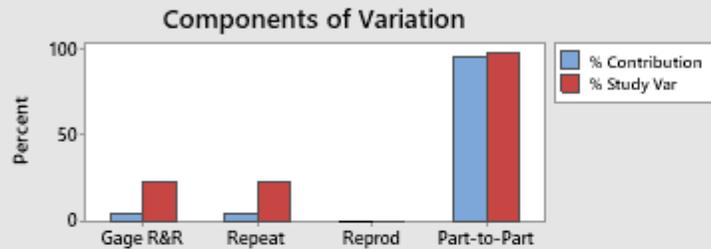
Gage R&R Study (Nested) ×

C1 Peça	Part or batch numbers:	Peça	Gage Info...
C2 Operador	Operators:	Operador	Options...
C3 Resposta	Measurement data:	Resposta	Conf Int...
			Storage...
	Select		OK
	Help		Cancel

Gage R&R (Nested) Report for Resposta

Gage name:
Date of study:

Reported by:
Tolerance:
Misc:



Gage R&R (Nested) for Resposta

Source	DF	SS	MS	F	P
Operador	2	2,618	1,30922	0,2594	0,773
Peça (Operador)	27	136,285	5,04758	34,5709	0,000
Repeatability	30	4,380	0,14601		
Total	59	143,283			

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,38211	2,29265	23,71
Repeatability	0,38211	2,29265	23,71
Reproducibility	0,00000	0,00000	0,00
Part-To-Part	1,56550	9,39300	97,15
Total Variation	1,61146	9,66874	100,00



Análise do Sistema de Medição



Exemplo 4: Qualidade da Estamparia

PROPOSTA

Identificar diferenças entre as avaliações visuais realizadas por analistas distintos.

PROBLEMA

Avaliadores de tecidos em uma indústria de estamparia avaliam a qualidade da estamparia em algodão em uma escala de 1 a 5 pontos. O engenheiro de qualidade deseja avaliar a consistência e a exatidão das classificações dos avaliadores.



Análise do Sistema de Medição



DADOS COLETADOS

O engenheiro pede que quatro avaliadores classifiquem a qualidade da estamperia em 50 amostras de tecidos duas vezes, em ordem aleatória.

FERRAMENTAS UTILIZADAS

- Attribute Agreement Analysis.

ARQUIVO DE DADOS: Qualidade da Estamperia.MPJ

ATTRIBUTE AGREEMENT ANALYSIS

1. Abra o arquivo **QualidadeDaEstamparia.MPJ**
2. Escolha **Stat > Quality Tools > Attribute Agreement Analysis**
3. Complete a caixa de dialogo, como mostramos ao lado:
4. Clique em **OK** em todas as caixas de diálogo.

Attribute Agreement Analysis

C1	Appraiser
C2	Resposta
C3	Amostra
C4	Ensaio
C5	Padrão

Data are arranged as

Attribute column:

Samples:

Appraisers:

Multiple columns:

(Enter trials for each appraiser together)

Number of appraisers:

Number of trials:

Appraiser names (optional):

Known standard/attribute: (Optional)

Categories of the attribute data are ordered

Select

Help

Information...

Options...

Graphs...

Results...

OK

Cancel



Análise do Sistema de Medição



Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
Amanda	50	50	100,00	(94,18; 100,00)
Britt	50	48	96,00	(86,29; 99,51)
Eric	50	43	86,00	(73,26; 94,18)
Mike	50	45	90,00	(78,19; 96,67)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Assessment Agreement

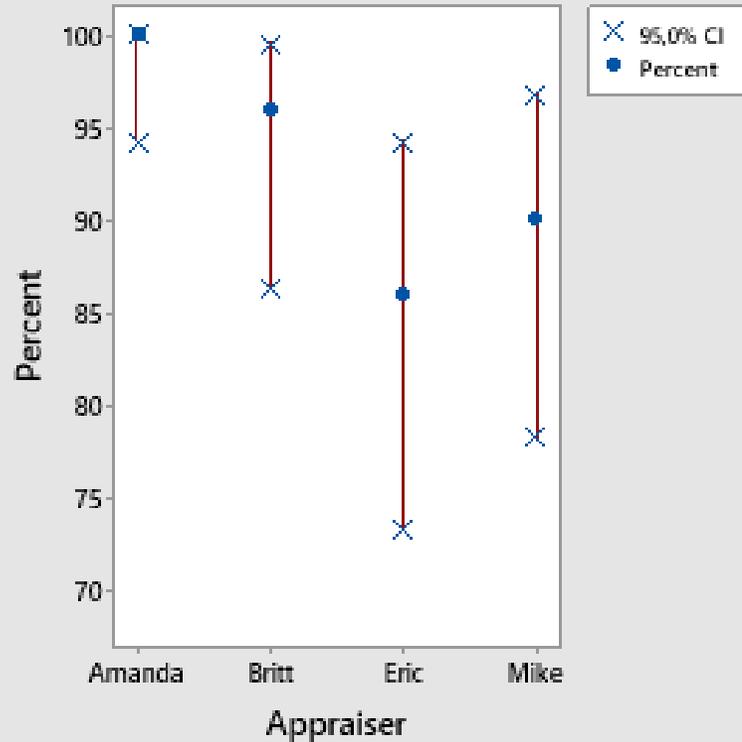
Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
Amanda	50	47	94,00	(83,45; 98,75)
Britt	50	46	92,00	(80,77; 97,78)
Eric	50	41	82,00	(68,56; 91,42)
Mike	50	45	90,00	(78,19; 96,67)

Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

Assessment Agreement

Date of study:
Reported by:
Name of product:
Misc:

Within Appraisers



Appraiser vs Standard

