

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

Comparação entre os procedimentos “Média e Amplitude” e ANOVA (Crossed) na análise dos sistemas de medição replicáveis

Ian Gustavo Tomelin Fusi, ianfusi@hotmail.com¹
Sueli Fischer Beckert, sueli.f@ufsc.br¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Rua Dr. João Colin, 2700, 89218-035, Joinville - SC

Resumo: Para a realização do monitoramento dos processos produtivos e para a verificação da conformidade às especificações, é necessário que as medições sejam confiáveis, permitindo que decisões adequadas sejam tomadas. Neste sentido, não é suficiente apenas avaliar os erros máximos dos instrumentos de medição, mas sim assegurar que o processo de medição cumpra sua tarefa de medir corretamente. No Brasil, utiliza-se frequentemente o método de análise dos sistemas de medição conhecido como MSA - 4ª Edição, sendo este relatado no Manual publicado pelo Grupo de Ação da Indústria Automotiva. Este manual tem o foco na análise de sistemas de medição que permitem replicar a medição. E para análise da variação do sistema de medição são apresentados 2 métodos denominados Média e Amplitude ($\bar{x}$ &R) e Análise de Variância (ANOVA Crossed). Atualmente, a indústria automotiva continua priorizando o uso do método ($\bar{x}$ &R), por se tratar de uma forma mais simples para o processamento dos dados e não requerer conhecimentos estatísticos significativos por parte do analista. Surge assim o questionamento: o método é sempre adequado, mesmo quando se trata de medições replicáveis? Este artigo traz os resultados de um estudo comparativo feito entre os dois métodos de análise da variação em sistemas de medição replicáveis, concluindo que a opção feita pelas empresas pode não ser a melhor. Com base nos estudos realizados, onde foram realizados testes com diferentes instrumentos de medição, chegou-se a conclusão que o método ($\bar{x}$ &R) pode perder informação mesmo quando se trata de medições replicáveis. O artigo apresenta uma comparação entre os métodos Média e Amplitude ($\bar{x}$ &R) e Análise de Variância (ANOVA Crossed), destacando pontos positivos e negativos entre eles. A grande limitação do método ($\bar{x}$ &R) é não levar em consideração a interação entre peças e operador, sendo necessário conhecimento técnico prévio desta condição para optar pelo método mais simples. Já o método ANOVA (Crossed) estuda a variabilidade do sistema de medição, decompondo-a em peças, avaliadores, repetibilidade devido ao dispositivo de medição e de forma distinta em relação ao método anterior, ele consegue verificar e quantificar a variação devida a interação entre peças e avaliadores. No entanto, exige maior conhecimento por parte do analista, sendo recomendada a utilização de recursos computacionais, devido a complexidade nos cálculos. Como resultado dos estudos realizados, pode-se concluir que método ($\bar{x}$ &R) deveria ser colocado em desuso e gradativamente ser substituído pelo método ANOVA (Crossed), evitando que parcela da variação existente no sistema de medição seja negligenciada.

Palavras-chave: MSA, ANOVA, sistema de medição.

1. INTRODUÇÃO

Para assegurar que as medições sejam adequadas, a organização deve determinar e prover recursos necessários para assegurar que os resultados da medição sejam válidos e confiáveis para verificar a conformidade dos produtos com suas especificações (ABNT¹, 2015). Para Constable e Gasper (2014), somente o controle das calibrações dos instrumentos não constitui um sistema de medição robusto, uma vez que o processo de medição deve ser avaliado através de métodos analíticos que possam trazer informação sobre seu potencial em distinguir as diferenças entre as peças produzidas. A ABNT ISO TS 16949 (2010), direcionada ao segmento automotivo, estabelece que devem ser conduzidos estudos estatísticos para avaliar a variação presente nos resultados de medição. É importante destacar que sistema de medição (ou processo de medição) é o conjunto de operações para determinar o valor de uma grandeza (ABNT², 2015; VDA, 2011), e recebe influências do inspetor, instrumento de medição, método, condições ambientais, entre outras. O instrumento de medição refere-se ao dispositivo utilizado para obter o dado da medição. A aplicação de métodos estatísticos para avaliação do sistema de medição tem como objetivo estudar as propriedades estatísticas relacionadas às suas medidas de posição e variação (AIAG, 2010), sendo os parâmetros de repetibilidade e reprodutibilidade utilizados

como medidas de variação do sistema de medição. A característica de variação que combina estes dois parâmetros é denominada de R&R.

Tradicionalmente, dois métodos são aplicados para análise da variabilidade dos sistemas de medição, denominados: Média e Amplitude ($\bar{x}$ & R) e Análise de Variância (ANOVA), conforme descrito no Manual de MSA (AIAG, 2010).

O objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade dos diferentes métodos de avaliação da variação dos sistemas de medição (R&R), quanto à convergência (ou não) de seus resultados, quando aplicados a sistemas de medição replicáveis.

2. IMPACTO DA VARIAÇÃO DO SISTEMA NO PROCESSO PRODUTIVO

O sucesso das empresas no mercado tem sido ao longo das décadas, dependentes da qualidade de produtos e serviços que oferecem. E esta qualidade pode ser determinada pela interação entre as especificações do projeto, o atendimento à conformidade e a percepção do cliente, indo de encontro às oito dimensões da qualidade citadas por Garvin (1987): desempenho, características, conformidade, confiabilidade, durabilidade, atendimento, estética, e qualidade percebida. Seja no desenvolvimento de produtos com a aplicação de planejamentos experimentais, no monitoramento de processos produtivos como na inspeção dos produtos, a necessidade de realização de medições confiáveis é indispensável. Conforme Montgomery (2004), em qualquer situação que envolve medições, parte da variabilidade observada é oriunda do próprio produto, mas uma parte será decorrente do erro de medição. Neste sentido, os sistemas de medição precisam ser adequados para a tarefa de medição requerida. É necessário ter clareza de quanto a variação do sistema de medição contribui na variação observada do processo produtivo ou representa a tolerância do produto. Para Dietrich e Schulze (2014), o objetivo na avaliação de um sistema de medição é identificar os fatores que influenciam significativamente no resultado de medição e estimar sua contribuição na determinação dos erros de medição.

3. PARÂMETROS ESTATÍSTICOS APLICADOS A VARIAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

De acordo com o Manual MSA (AIAG, 2010), é atribuído o termo R&R para o parâmetro de variação do Sistema de Medição, com a avaliação da repetibilidade e da reprodutibilidade (Fig. 1). Em um estudo de R&R, usualmente a repetibilidade representa a variação do sistema de medição em um conjunto de condições, as quais compreendem o mesmo procedimento de medição, os mesmos avaliadores, o mesmo equipamento de medição, as mesmas condições de operação e o mesmo local, assim como medições repetidas no mesmo objeto ou em objetos similares durante um curto período de tempo. Para fins deste estudo, a reprodutibilidade corresponde à variação na média das medidas obtidas por diferentes avaliadores utilizando o mesmo procedimento de medição no mesmo conjunto de amostras (ZANOBINI *et al*, 2016).

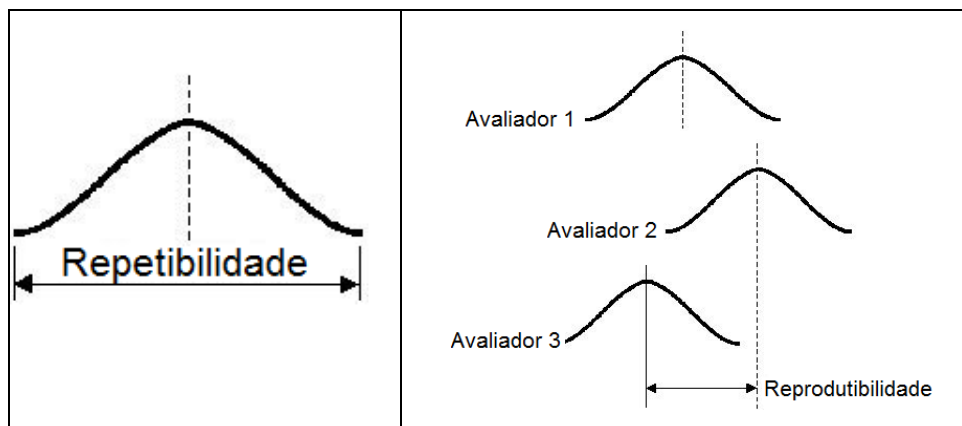


Figura 1. Medidas de Variação (AIAG, 2010)

Sendo a repetibilidade e a reprodutibilidade medidas de dispersão, estas são caracterizadas pelos seus respectivos desvios padrão, representados por VE e VA , respectivamente. O desvio-padrão combinado destas duas variações, denominado por R&R, é dado pela Eq.(1).

$$R\&R = \sqrt{VE^2 + VA^2} \quad (1)$$

No estudo do R&R tem-se como objetivo verificar se a variação do sistema de medição é pequena comparada ao processo de fabricação ou à tolerância, e se o sistema de medição é capaz de discriminar as peças adequadamente. Como o objetivo do trabalho é avaliar a aplicação dos métodos para sistemas de medição replicáveis, os valores percentuais neste trabalho serão considerado em relação a tolerância do produto.

A partir da obtenção dos desvios-padrão, é possível realizar os cálculos percentuais da tolerância consumida pela variação do sistema de medição, conforme apresentado na Eq.(2).

$$\%R\&R = \frac{6 \times R\&R}{Tolerância} 100 \quad (2)$$

De acordo com o Manual MSA (AIAG, 2010), o percentual aceitável para %R&R é de 10%. Para %R&R entre 10% e 30%, pode ser aceito para algumas aplicações, mas deveria ser aprovado pelo cliente. Para %R&R acima de 30%, o sistema de medição é considerado inaceitável, e todos os esforços devem ser feitos para melhorar o sistema de medição. Dietrich e Schulze (2014), com base em diretrizes adotadas pela indústria automotiva alemã, consideram aceitáveis percentuais até 20% quando são analisados novos sistemas de medição, que ainda irão ser implantados no processo produtivo. Para processos de medição já implantados, são aceitáveis valores de %R&R até 30%.

De acordo Skrivaneck (2009), a forma geral e mais comumente usada para o estudo da variabilidade do sistema de medição é denominado em inglês “Gage Crossed Study”, e consiste em repetir a medição das mesmas amostras por vários avaliadores. Esta forma de estudo pressupõe que as amostras são preservadas em suas condições originais e não sofrem alterações, física ou de outra forma, entre medições ou entre avaliadores. Neste caso, dois métodos quantitativos de análise são propostos: o método da média e amplitude ($\bar{x}$ & R) e da Análise de Variância (ANOVA Crossed). Para a indústria automotiva alemã, a metodologia de análise dos processos de medição somente considera a aplicação do método ANOVA (VDA, 2011). Garcia e Rio (2013) consideram que os dois métodos tem vantagens e desvantagens, mas a tendência seria usar o método ANOVA, pois dá estimativas mais precisas dos parâmetros envolvidos na análise do sistema de medição.

Em geral, para avaliação da repetibilidade e reprodutibilidade, o estudo de R&R faz uso de 10 elementos (peças) que representam a variação do processo produtivo, e 3 medições por 2 ou 3 avaliadores são realizadas em cada peça. Um formulário típico a ser preenchido no estudo de R&R é dado na Fig. 2.

Peça	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Avaliador 1:											
Medida 1	X ₁₁₁	X ₂₁₁	X ₃₁₁	X ₄₁₁	X ₅₁₁	X ₆₁₁	X ₇₁₁	X ₈₁₁	X ₉₁₁	X _{n11}	
Medida 2	X ₁₁₂										
Medida 3	X _{11r}										
Média											
Amplitude											
Avaliador 2:											
Medida 1											
Medida 2											
Medida 3											
Média											
Amplitude											
Avaliador 3:											
Medida 1											
Medida 2											
Medida 3										X _{nkr}	
Média											
Amplitude											
Média amostra											
Legenda: n = número de peças, k = número de avaliadores, r = número de replicações											

Figura 2. Modelo de preenchimento dos dados para estudo de R&R

4. MÉTODO DA MÉDIA E AMPLITUDE

Para avaliação do desvio-padrão da repetibilidade (VE), são levadas em consideração as amplitudes obtidas em cada estudo de repetibilidade (replicações realizadas pelo mesmo avaliador na mesma peça). A estimativa de VE é dada pela Eq.(3).

$$VE = \frac{\bar{R}}{d_2^*} \quad (3)$$

Onde o $\bar{R}$ corresponde média das amplitudes médias obtidas pelos avaliadores;

d_2^* é uma constante que pode ser obtida no manual MSA (AIAG, 2010), em função do número de replicações.

A estimativa do desvio-padrão VA, que representa a variação entre avaliadores é obtida da Eq.(4).

$$VA = \sqrt{\left(\frac{\bar{X}_{DIF}}{d_2^*}\right) - \left(\frac{VE^2}{(n \times r)}\right)} \quad (4)$$

onde $\bar{X}_{DIF}$ é diferença entre máxima e a mínima média obtida pelas medições de cada operador;

d_2^* é uma constante que pode ser obtida no manual MSA, em função do número de avaliadores envolvidos no estudo.

O desvio padrão da variação do sistema de medição R&R é calculado conforme a Eq. (1).

5. ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Na análise de variância (ANOVA crossed), este método decompõe a variabilidade em quatro categorias, são elas: peças, avaliadores, dispositivo de medição e a interação entre peças e avaliadores, sendo esta última categoria não contemplada no ($\bar{x}$ & R). A partir dos dados coletados, é então elaborado o quadro de ANOVA, apresentado na Tab. 1 (AIAG, 2010).

Tabela 1. Análise de Variâncias (ANOVA)

Fonte	GL	SQ	QM	F
Avaliador	$k - 1$	SQ_A	$QM_A = \frac{SQ_A}{(k - 1)}$	
Peças	$n - 1$	SQ_P	$QM_P = \frac{SQ_P}{(n - 1)}$	
Avaliador por peça	$(n - 1) \times (k - 1)$	SQ_{AP}	$QM_{AP} = \frac{SQ_{AP}}{(n - 1) \times (k - 1)}$	$\frac{QM_{AP}}{QM_e}$
Equipamento	$n \times k(r - 1)$	SQ_e	$QM_e = \frac{SQ_e}{n \times k \times (r - 1)}$	
Total	$n \times k \times r - 1$	SQT		

Onde:

$$SQ_P = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{i..}^2}{(k \times r)} \right) - \frac{x_{...}^2}{(n \times k \times r)} \quad (5)$$

$$SQ_A = \sum_{j=1}^k \left(\frac{x_{.j.}^2}{(n \times r)} \right) - \frac{x_{...}^2}{(n \times k \times r)} \quad (6)$$

$$SQT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^r (x_{ijm}^2) - \frac{x_{...}^2}{(n \times k \times r)} \quad (7)$$

$$SQ_{AP} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \left(\frac{x_{ij.}^2}{r} \right) - \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{i..}^2}{(k \times r)} \right) - \sum_{j=1}^k \left(\frac{x_{.j.}^2}{(n \times r)} \right) + \frac{x_{...}^2}{(n \times k \times r)} \quad (8)$$

$$SQ_e = SQM - [SQ_A + SQ_P + SQ_{AP}] \quad (9)$$

Sendo que:

$x_{...}^2$ = Total global de todas as observações ao quadrado

$x_{i..}^2$ = Total das observações sujeitas ao i -ésimo tratamento ao quadrado

$x_{.j.}^2$ = Total das observações sujeitas ao j -ésimo tratamento ao quadrado

x_{ijm}^2 = Total das observações sujeitas ao ijm -ésimo tratamento ao quadrado

Com base no quadro de Análise de Variância, são então calculados os desvios padrão referente à repetibilidade VE, a reprodutibilidade VA, a interação entre as peças e avaliadores I_{AP} e a variação do sistema de medição R&R, conforme apresentado nas Eq.(10) a Eq.(13), quando a interação entre a peça e avaliador for significativa. Neste caso, esta influência é adicionada a variação do sistema de medição R&R.

$$VE = \sqrt{QM_e} \quad (10)$$

$$VA = \sqrt{\frac{QM_A - QM_{AP}}{n \times r}} \quad (11)$$

$$I_{AP} = \sqrt{\frac{QM_{AP} - QM_e}{r}} \quad (12)$$

$$R\&R = \sqrt{VE^2 + VA^2 + I_{AP}^2} \quad (13)$$

Quando a interação entre as peças e avaliadores não for significativa (um teste de significância F é realizado entre a variância da interação e variância da repetibilidade, sendo atribuído um nível de significância de 0,05 para o Erro tipo I), é adicionada à soma dos quadrados do erro do dispositivo de medição (SQ_e) a soma dos quadrados do avaliador pela interação da peça (SQ_{AP}), sendo este resultado a soma dos quadrados compostos (SQ_{comp}). Para obter, o quadrado médio QM_{comp} , SQ_{comp} é dividido pelos respectivos graus de liberdade, dado por $(nkr - n - k + 1)$. Os desvios padrão da repetibilidade e da reprodutibilidade são calculados conforme as equações (14) e (15).

$$VE = \sqrt{QM_{comp}} \quad (14)$$

$$VA = \sqrt{\frac{QM_A - QM_{comp}}{n \times r}} \quad (15)$$

O desvio padrão da variação do sistema de medição R&R é calculado conforme a Eq.(1).

6. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Para avaliar a aplicabilidade dos métodos Média e Amplitude ($\bar{x}$ &R) e Análise de Variância (ANOVA Crossed) na avaliação da variação dos sistemas de medição que permitem a replicação, foram estudados 3 dispositivos de medição: balança, paquímetro e paralelos ópticos, considerando que pudesse haver um grau crescente de interação entre as peças e os avaliadores. Para todos os estudos, foram utilizadas 10 peças (amostras), 3 avaliadores e realizadas 3 replicações em cada peça (amostra).

6.1. Análise de R&R na medição de massa com balança de precisão

O primeiro experimento foi realizado na medição de uma peça plástica, cuja especificação para massa era de $7,5 \pm 0,5$ g (tolerância de 1 g). A balança utilizada no estudo apresentava uma resolução de 0,01 g, aceitável para aplicação. A Figura 3 apresenta as amplitudes obtidas por cada avaliador. Através do gráfico das amplitudes da repetibilidade é possível verificar que não ocorreram amplitudes discrepantes, e a variabilidade é comum, mas independente, a todos os avaliadores. Também se observa a adequação da resolução adotada no estudo, por apresentar diferentes valores para as amplitudes.

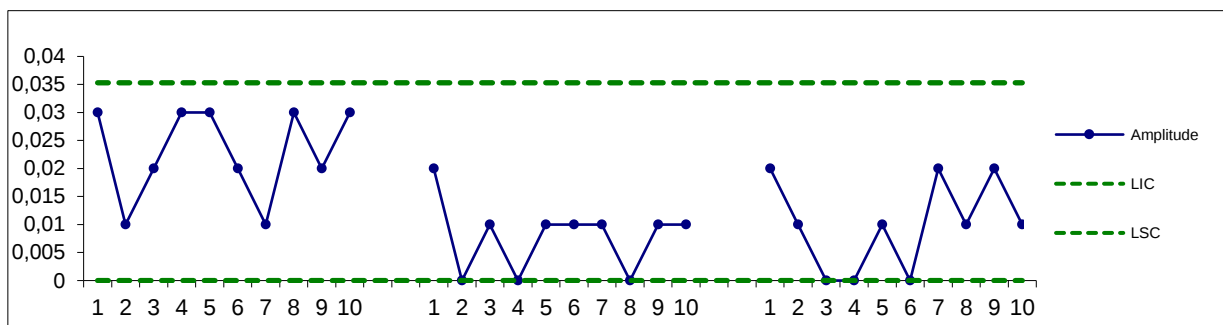


Figura 3. Gráfico das Amplitudes de Repetibilidade das medições com a Balança.

O gráfico das médias obtidas pelos avaliadores em cada peça está apresentado na Fig. 4. Os limites de controle são estabelecidos com base na amplitude da repetibilidade do sistema de medição, enquanto as médias representam a variação entre as peças. Desta forma, é possível evidenciar que o sistema de medição tem condições de discriminar as medidas, visto que a variação das peças é superior a variação observada no sistema de medição.

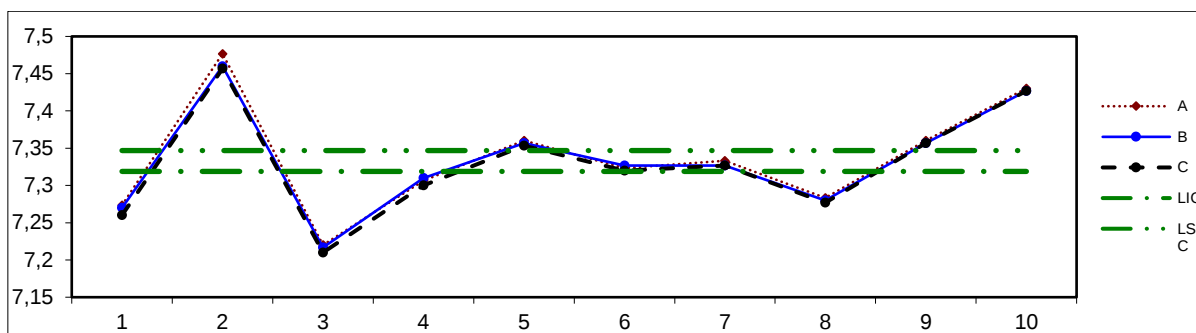


Figura 4. Gráfico das Médias das medições com a Balança.

Os resultados dos cálculos para avaliação numérica dos resultados, obtidos pelos métodos da Média e Amplitude ($\bar{x}$ &R) e Análise de Variância (ANOVA Crossed) estão apresentados na Tab. 2.

Tabela 2. Comparação entre os métodos das medições realizadas com a Balança

Parâmetro	Método de análise	
	$\bar{x}$ & R	ANOVA
VE (g)	0,0081	0,0085
%VE	8,1	8,5
VA (g)	0,0039	0,0037
%VA	3,9	3,7
I _{AP} (g)	-	-
% I _{AP}	-	-
R&R (g)	0,0090	0,0093
%R&R	9,0	9,3

Neste estudo, observa-se que não houve interação dos avaliadores com as peças. Através da Análise de Variância, o teste de significância apontou o Valor P igual a 0,972. Esta probabilidade denominada Valor P representa o menor nível de significância que levaria a rejeição da hipótese que a interação entre avaliadores e peças não existe. Assim, a interação somente poderia ser considerada significativa se o Valor P fosse menor que o nível de significância ($\alpha = 0,05$). Este resultado era esperado, uma vez que a balança estava apoiada em uma bancada rígida, e o avaliador somente teve o cuidado de posicionar a peça sobre o prato da balança. Desta forma, os valores obtidos pelos 2 métodos foram similares.

6.2. Análise de R&R de medição de comprimento com paquímetro digital

O segundo experimento foi realizado também em uma peça plástica, para medição de um comprimento, cuja especificação era de $35 \pm 0,5$ mm (tolerância de 1 mm). Para realização das medições foi utilizado um paquímetro digital, com resolução de 0,01 mm, adequada para a tarefa de medição. A diferença em relação ao estudo anterior reside no fato que, poderia haver influência do avaliador na realização da medida, devido a força de medição aplicada junto à parte móvel do paquímetro. É importante relatar que, o procedimento de medição foi uniformizado entre os avaliadores que participaram da medição.

As amplitudes e médias obtidas por avaliador e por peça estão representados nas Fig. 5 e Fig. 6, respectivamente.

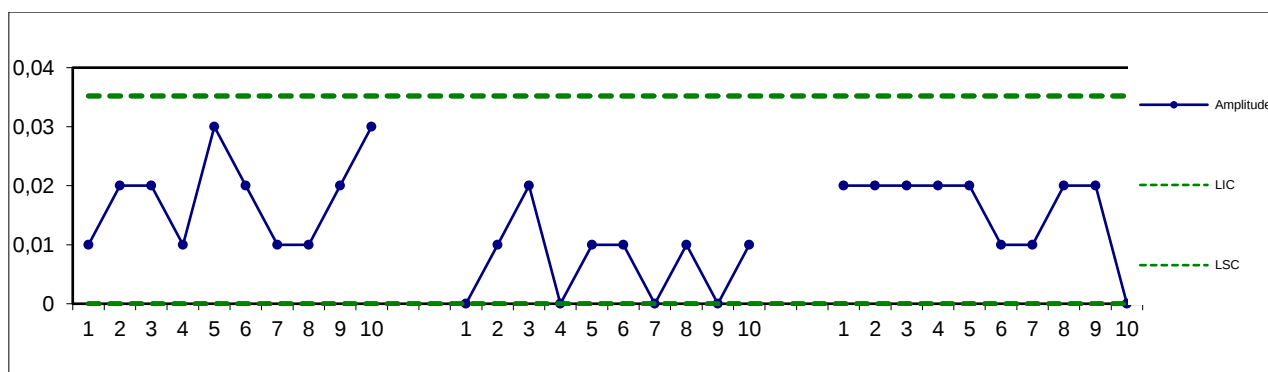


Figura 5. Gráfico das Amplitudes de Repetibilidade das medições com o Paquímetro.

No gráfico das amplitudes é possível verificar que a variação do sistema de medição está controlada entre os avaliadores. No gráfico das médias evidencia-se uma convergência nos valores obtidos.

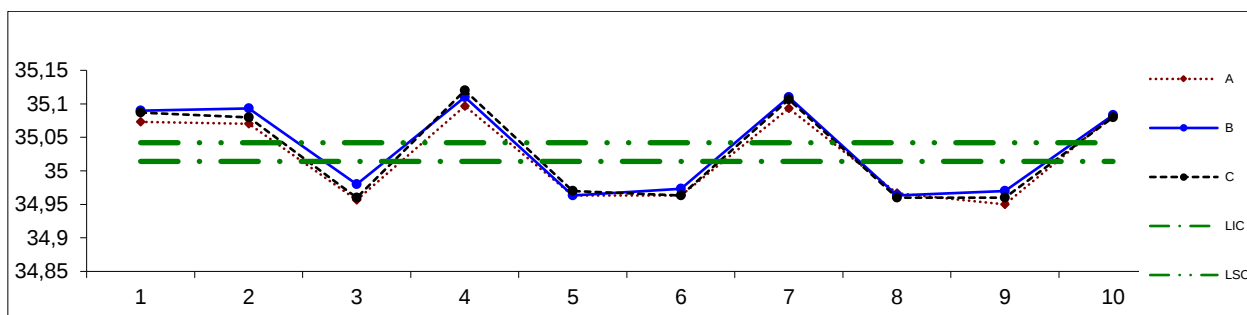


Figura 6. Gráfico das Médias das medições com o Paquímetro.

Os resultados numéricos dos estudos de R&R pelo método da ANOVA Crossed e ($\bar{x}$ & R) são mostrados na Tab. 3, na qual foram realizadas medições com paquímetro para medir o comprimento da peça.

Tabela 3. Comparação entre os métodos das medições realizadas com o Paquímetro

Parâmetro	Método de análise	
	$\bar{x}$ & R	ANOVA
VE (mm)	0,0081	0,0084
%VE	4,9	5,0
VA (mm)	0,0061	0,0057
%VA	3,7	3,4
I _{AP} (mm)	-	0,0044
% I _{AP}	-	2,6
R&R (mm)	0,0101	0,0111
%R&R	6,1	6,7

Através da Análise de Variância foi possível identificar que existe uma interação entre os avaliadores e as peças, confirmando que mesmo em medições replicáveis, esta fonte de variação pode ocorrer. A Interação foi considerada significativa devido o Valor P obtido ter sido igual a 0,043, menor que o nível de significância ($\alpha = 0,05$). Fazendo uma análise técnica adicional, a interação obtida é pertinente, pois dois elementos podem contribuir para está interação: o próprio mensurando que é uma peça plástica, sujeita a erros de forma e deformação, e o próprio dispositivo de medição. Mesmo com os cuidados tomados, não é possível assegurar que a força de medição fosse constante e, portanto, pôde gerar variações durante a realização das medições.

6.3. Análise de R&R na medição de paralelismo das faces do micrômetro externo com paralelo óptico

Buscando assegurar que também em medições replicáveis pode ocorrer a interação das peças com os avaliadores, foi realizado um terceiro experimento, onde foi avaliada uma característica geométrica, no caso o erro de paralelismo existente entre as faces de medição do micrômetro externo. Foi considerado um erro admissível de 2 μ m para o erro de paralelismo do micrômetro. Para isto foram selecionados 10 micrômetros, cujos erros de paralelismo eram distintos. Como padrão, foi utilizado um paralelo óptico usualmente aplicado neste tipo de medição.

Nas Fig. 7 e Fig. 8 podem ser observados os gráficos das amplitudes e médias, respectivamente.

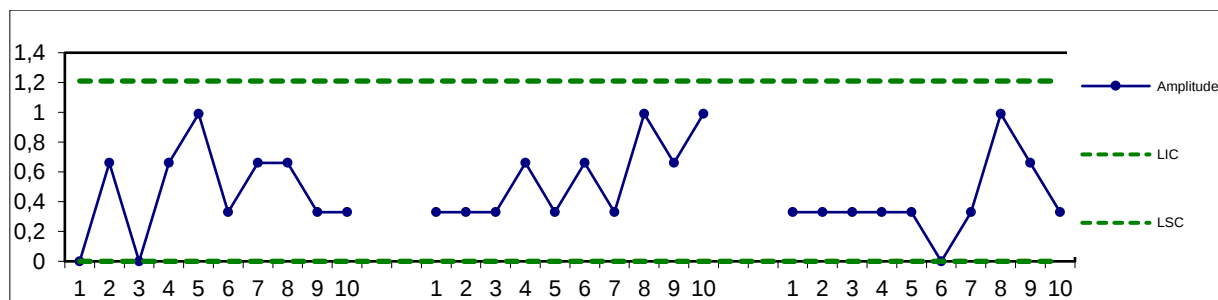


Figura 7. Gráfico das Amplitudes de Repetibilidade das medições com o Micrômetro.

Na Figura 8 pode-se observar o gráfico das médias, no qual não há convergência nas medições dos operadores, podendo assim inferir que existe a interação operador por peça.

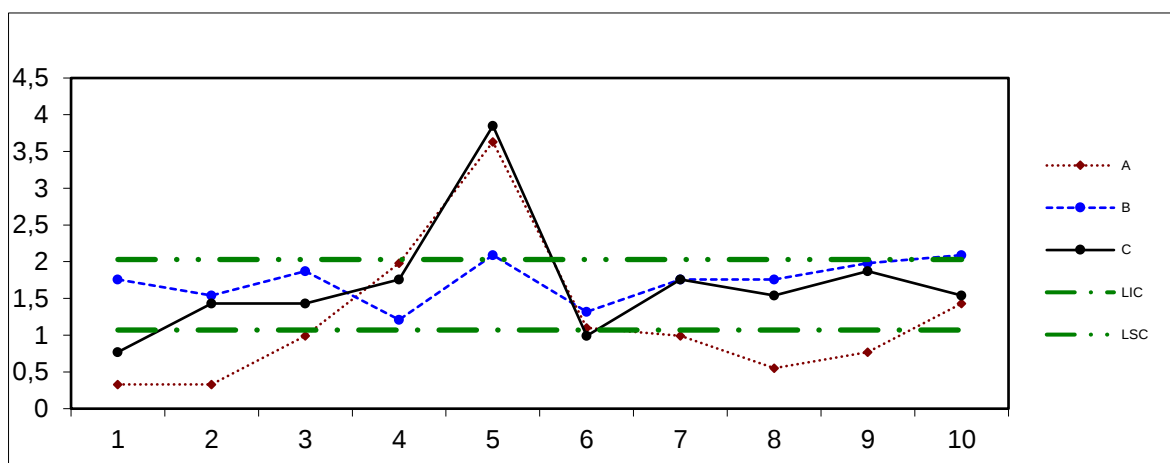


Figura 8. Gráfico das Médias das medições com o Micrômetro.

Na Tabela 4 é apresentado os resultados numéricos do estudo de R&R do paralelismo nos micrômetros.

Tabela 4. Comparação entre os métodos das medições realizadas com o Micrômetro

Parâmetro	Método de análise	
	$\bar{x}$ & R	ANOVA
VE (μm)	0,28	0,3
%VE	84,8	90,9
VA (μm)	0,27	0,24
%VA	81,8	72,7
I _{AP} (μm)	-	0,51
% I_{AP}	-	154,5
R&R (μm)	0,39	0,64
%R&R	118,2	193,9

Através da análise de variância foi possível identificar que existe uma interação entre os avaliadores e as peças (micrômetros avaliados). Devido a variabilidade obtida na interação ter sido muito superior ao desvio-padrão da repetibilidade, o Valor P obtido foi igual a Zero. Neste caso, devido a dificuldade que cerca este procedimento de medição, foi evidente as interações existentes, sendo também possível observar no gráfico das médias os resultados diferentes obtidos pelos avaliadores para a mesma peça medida.

7. CONCLUSÃO

Com base nos resultados apontados, mesmo se tratando de medições replicáveis, pode ocorrer a interação dos avaliadores com os produtos medidos, e isto pode impactar na qualidade dos sistemas de medição. Salvo para sistemas de medição previamente reconhecidos que estão isentos desta fonte de variação, o método mais adequado para realizar a avaliação dos sistemas de medição é o método ANOVA Crossed, uma vez que a existência (ou não) da interação é sempre avaliada. Outro fato a ser destacado é que o método ANOVA Crossed leva em consideração todos os dados coletados, e não apenas os dados extremos, como é aplicado no método da Média e Amplitude. Considerando que não existem mais limitações para a compilação dos resultados, e visto que a coleta de dados para os dois métodos avaliados é idêntica, as empresas deveriam adotar prioritariamente o método ANOVA Crossed, garantindo uma melhor avaliação dos seus sistemas de medição.

8. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 2010, “ABNT ISO/TS 16949: Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos particulares para aplicação da ABNT NBR ISO 9001: 2008 para organizações de produção automotiva e peças de reposição pertinentes”, Rio de Janeiro, Brasil.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT¹, 2015, “ABNT NBR ISO 9001: Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos”, Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT², 2015, “ABNT NBR ISO 9000: Sistemas de gestão da qualidade – Fundamentos e Vocabulário”, Rio de Janeiro, Brasil.
- Associação da Indústria Automobilitica – VDA, 2011, “VDA 5 – Capacidade dos Processos de Medição”, ISSN 0943-9412, Berlin, Alemanha.
- Automotive Industry Action Group-AIAG, 2010, “Measurement Systems Analysis – MSA”, Fourth Edition, Southfield, USA. Traduzido para o português pelo Instituto da Qualidade Automotiva, AIAG, São Paulo, Brasil.
- CONSTABLE, G.P., GASPER, E., 2014, “Conducting an R&R Study yields information about measurement systems”, Quality, pp. 28-30.
- DIETRICH, E., SCHULZE, A., “Eingungsnachweis von Prüfprozessen”, München: Hanser Verlag, 2014.
- GARCIA, A.C., RIO, A. G., 2013, “Number of distinct data categories and gage repeatability and reproducibility. A double (but single) requirement, Measurement, 46, Elsevier, pp. 2514-2518.
- GARVIN, D.A., “Competing on the Eight Dimensions of Quality”, Harvard Business Review, (87603), November-December, 1987, pp. 101-109.
- MONTGOMERY, D., 2004, “Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade”, LTC, Rio de Janeiro, Brasil.
- SKRIVANEK, S., 2009, “Gage R&R acceptability”, MoreSteam, Powel, USA. Available in <http://www.moresteam.com/whitepapers/download/measurement-system.pdf>.
- ZANOBI, A., SERENI, B., CATELANI, L. C., 2016, “Repeatability and Reproducibility techniques for the analysis of measurement systems”, Measurement, 86, Elsevier, pp. 125-132.

9. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

Comparison between the procedures "Average and Amplitude" and ANOVA (Crossed) in the analysis of replicable measurement systems

Ian Gustavo Tomelin Fusi, ianfusi@hotmail.com¹
Sueli Fischer Beckert, sueli.f@ufsc.br¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Rua Dr. João Colin, 2700, 89218-035, Joinville – SC

Abstract. *To carry out the monitoring of production processes and to verify compliance with the specifications, it is necessary that the measurements are reliable, allowing appropriate decisions are taken. In this sense, it is not enough just to evaluate the maximum error of measuring instruments, but it must be ensured that the measurement process fulfills its task of measuring correctly. In Brazil, often the method of analysis of measurement systems known as MSA - 4th Edition is used, which is reported in the manual published by Action Group of the Automotive Industry. This manual is focused on the analysis of measurement systems that enable to perform replicate measurements. And for the measurement system variation analysis are presented two procedures called "Mean and Range ($\bar{x}$ & R)" and Analysis of Variance (ANOVA Crossed). Currently, the automotive industry continues prioritizing the use of ($\bar{x}$ & R) procedure, because it is a simple way to process the data and does not require significant statistical knowledge on the part of the analyst. This raises the question: the procedure is always right, even when it comes from replicable measurements? This article presents the results of a comparative study between the two procedures of analysis of variation in replicable measurement systems. Based on studies where different measuring instruments tests were conducted, we came to the conclusion that ($\bar{x}$ & R) procedure loses information even when it comes from replicable measurements. The major limitation of ($\bar{x}$ & R) method does not take into account the interaction between parts and operator, requiring prior technical knowledge of this condition to choose the simplest method. But ANOVA procedure studies the variability of the measurement system, breaking it into pieces, appraisers, replication due to the measuring device and different from the previous method, it can verify and quantify the variation due to interaction between parts and appraisers. However, it requires more knowledge on the part of the analyst, is always recommended the use of computing resources, due to the complexity in calculations. As a result of the studies conducted, it can be concluded that ($\bar{x}$ & R) procedure should be put into disuse and is gradually replaced by ANOVA procedure, preventing portion existing variations in the measurement system is not neglected.*

Keywords: MSA, ANOVA, measurement system.