

## **Análise dos Sistemas de Medição (MSA) aplicada às medições não replicáveis: um estudo de caso no ensaio de tração**

### **Measurement Systems Analysis (MSA) applied to non-repeatable measurements: a case study in tensile test**

**S F Beckert<sup>1</sup>, F J Reitz<sup>2</sup>, D R Domaszak<sup>2</sup>, E A Serafim<sup>2</sup>, J F da Silva Filho<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina; <sup>2</sup> ArcelorMittal Vega

E-mail: [sueli.f@ufsc.br](mailto:sueli.f@ufsc.br)

**Resumo:** Para assegurar a conformidade de processos e produtos, é indispensável a utilização de sistemas de medição adequados para o controle e inspeção, mesmo se tratando de sistema de medição complexos ou não replicáveis. Este artigo contextualiza a aplicação do método MSA na análise dos resultados de ensaio de tração. E conclui sobre a importância do controle da repetibilidade e da participação em programas de ensaios de proficiência.

**Palavras-chave:** MSA; R&R; análise dos sistemas de medição.

**Abstract:** Order to ensure compliance of processes and products, the use of appropriate measurement systems is indispensable, even when dealing with complex or not replicable measurement systems. This paper focuses the implementation of MSA method in the analysis of tensile testing results. It concludes on the importance of controlling the repeatability and participating in proficiency testing programs.

**Keywords:** MSA; GRR; measurement systems analysis.

## **1. INTRODUÇÃO**

Para verificar a conformidade às especificações, torna-se necessário que as medições sejam confiáveis, permitindo que decisões adequadas sejam tomadas. Neste sentido, deveriam ser realizados testes para avaliar se o sistema de medição é eficaz no cumprimento de sua tarefa. O método de análise dos sistemas de medição conhecido como MSA é internacionalmente

utilizado e está relatado no Manual publicado pelo Grupo de Ação da Indústria Automotiva [1], estando atualmente em sua 4ª Edição. De acordo com este Manual, "a qualidade dos dados de medição é definida pelas propriedades estatísticas das múltiplas medições obtidas a partir de um sistema de medição operado sob condições estáveis". Ainda conforme este Manual, "as propriedades estatísticas mais comumente usadas para caracterizar a qualidade dos dados são a

tendência e a variância do sistema de medição". Entende-se aqui como sistema de medição o processo completo utilizado para obter as medidas, incluindo os instrumentos de medição, padrões, operações, métodos, dispositivos de fixação, software, pessoal, entre outros.

Entre os diversos tipos de ensaio existentes para a avaliação das propriedades mecânicas dos materiais, o Ensaio de Tração é amplamente no ambiente industrial e fornece informações importantes e primordiais para projeto e fabricação de peças e componentes [2]. O procedimento experimental consiste na deformação de uma amostra de determinado material até a sua fratura, devido à aplicação de uma carga uniaxial de tração.

Este artigo tem como objetivo avaliar a aplicação do método MSA no ensaio de tração em material metálico à temperatura ambiente, utilizando a característica de Resistência à tração ( $R_m$ ) para o estudo de caso.

O trabalho está estruturado de forma a apresentar inicialmente uma contextualização quanto aos métodos de avaliação de Repetibilidade e Reprodutibilidade pelo Método MSA, e uma apresentação da característica do ensaio de tração a ser avaliada e das principais fontes de variação existentes. Na sequência é apresentado um estudo de caso, considerando o ensaio de tração sendo realizado em um corpo de prova de seção retangular. Por último são feitas as considerações e conclusões sobre os resultados obtidos.

## 2. AVALIAÇÃO DA REPETIBILIDADE E REPRODUTIBILIDADE

O método MSA – Análise dos Sistemas de Medição tem forte aplicação na indústria de transformação, principalmente no segmento automotivo, devido às exigências estabelecidas no requisito de controle de dispositivos de

medição e monitoramento da especificação técnica ABNT ISO/TS 16949:2010.

Os parâmetros repetibilidade e reprodutibilidade são utilizados como medidas de variação do sistema de medição, conforme apresentado na figura 1. O R&R é o termo atribuído ao desvio padrão combinado da repetibilidade e da reprodutibilidade do sistema de medição.

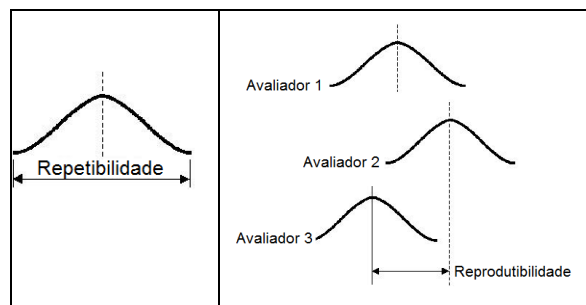


Figura 1 – Avaliação das medidas de variação  
Fonte: Manual MSA [1]

De acordo com o Manual MSA [1], a repetibilidade representa a variação nas medições obtidas com um instrumento de medição, quando usado várias vezes por um avaliador, enquanto medindo uma característica idêntica de uma mesma peça/amostra. Tipicamente, a reprodutibilidade corresponde à variação das médias das medições feitas por diferentes avaliadores, utilizando um mesmo instrumento de medição, enquanto medindo a mesma característica de uma mesma peça/amostra.

Os procedimentos e cálculos para determinação de R&R (de medições replicáveis) estão apresentados no manual MSA [1].

De acordo com Skrivanek [3], 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. Este procedimento pressupõe que as amostras são preservadas em suas condições originais e não

sofrem alterações, física ou de outra forma, entre ensaios ou entre avaliadores (figura 2).

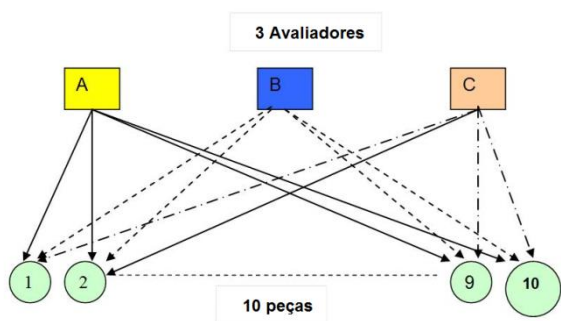


Figura 2 – Método *Crossed* para estudo de R&R  
Fonte: Improveandinnovate [4]

Neste caso, dois métodos quantitativos de análise podem ser propostos: o método da média e amplitude ( $\bar{x}$ & $R$ ) e da Análise de Variância (ANOVA).

O método ( $\bar{x}$ & $R$ ) é de fácil aplicação, mas apresenta duas desvantagens significativas: o fato de somente considerar os valores mais dispersos em cada amostra e não avaliar a interação entre os fatores que podem influenciar no resultado da medição. A recomendação da AIAG [1] é que a Análise da Variância seja aplicada nas análises dos sistemas de medição, até porque este método resolve os problemas citados anteriores.

Para Benham [5], existem alguns casos em que as medições não podem ser replicadas entre ensaios ou avaliadores. A parte é destruída ou é alterada fisicamente durante a medição, ou seja, a característica não pode ser medida novamente.

Trata-se de um sistema de medição onde as medições não são replicáveis. Neste cenário, a recomendação é a aplicação da forma denominada “*Gage Nested Study*”, em que cada avaliador mede partes diferentes, mas considera-se que as partes que compõem a mesma amostra são homogêneas (figura 3).

Para Beham [5], antes de realizar a avaliação de um sistema no qual as medições não são

replicáveis, é necessário garantir que todas as condições que cercam o ambiente das medições estejam definidas, padronizadas e controladas, tais como: os avaliadores qualificados e treinados, as instruções de trabalho definidas, as condições ambientais estabilizadas e equipamento verificado. Considerando que uma parte não pode ser reavaliada devido à sua destruição ou alteração, as partes que constituem uma amostra a ser replicada por vários avaliadores devem ser homogêneas, tendo a suposição que são duplicadas ou “peças idênticas”.

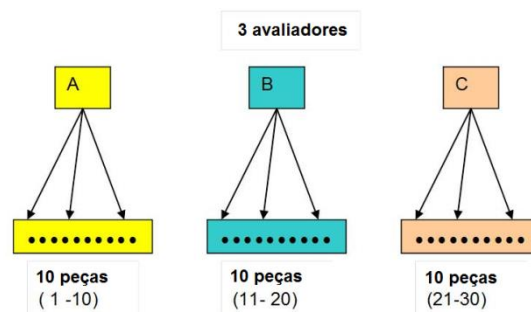


Figura 3 – Método *Nested* para estudo de R&R  
Fonte: Improveandinnovate [4]

Considerando que as amostras são constituídas por peças/componentes diferentes (mesmo considerando que sejam homogêneos), o que diferencia o Método *Nested* é a compilação dos resultados. Neste caso, a componente referente a interação entre o avaliador e peça não é contemplada na reprodutibilidade do sistema de medição. A componente da interação é inclusa na variação das peças.

## 2. ENSAIO DE TRAÇÃO

No ensaio de tração, várias são as características avaliadas. Para fins de aplicação do Método *Nested* e comparação com o Método *Crossed*, neste trabalho é avaliada a característica Resistência a tração ( $R_m$ ).  $R_m$  é a tensão correspondente ao ponto de máxima carga atingida durante o ensaio, ou seja, a máxima tensão que o corpo de prova resiste. A tensão é

dada pela carga (força máxima) dividida pela área inicial da seção transversal ( $S_0$ ) [6].

Através de documentos normativos [6][7], são identificadas possíveis fontes de variação nos resultados dos ensaios, que podem ser segregadas em três grupos distintos: o corpo de prova, os equipamentos e o método de ensaio. As incertezas decorrentes do corpo de prova e do método de ensaio são difíceis de serem isoladas e identificadas, dificultando avaliar seu impacto sobre o resultado do ensaio. Em relação aos equipamentos utilizados, esta identificação é praticável, através do diagnóstico apresentado nos certificados de calibração.

Diante disto, este trabalho partiu da premissa que os corpos de prova foram fabricados conforme os requisitos estabelecidos em documentos normativos, bem como foram observados os parâmetros para realização do ensaio.

### 3. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

A parte experimental foi, inicialmente, direcionada para a avaliação da variabilidade do sistema de medição (R&R), utilizando os métodos *Crossed* e *Nested*.

Esta aplicação está associada à realização de ensaio de tração em corpos de prova com seção transversal retangular.

Para a realização dos ensaios, foram retiradas amostras de 10 produtos distintos, mas decorrentes da mesma especificação. Cada amostra foi composta de 9 corpos de prova homogêneos que foram distribuídos aleatoriamente entre os 3 técnicos que realizaram os ensaios. Para diminuir o efeito da variação que pudesse existir entre os corpos de prova de um mesmo produto, os corpos de prova foram cortados na parte central, sendo que os corpos de prova para cada operador foram intercalados, permitindo que o efeito entre os operadores fosse minimizado.

Os corpos de prova apresentavam dimensões nominais de 80 mm para o comprimento inicial ( $L_0$ ), largura de 20 mm e espessura de 0,7 mm.

As medições da seção transversal foram realizadas com dispositivo de medição com resolução milesimal (visto que a incerteza proveniente da medição da espessura pode afetar significativamente o resultado de medição) e os ensaios foram realizados em uma máquina universal de ensaios do fabricante Instron Classe 0,5.

Foram avaliados os resultados de três estudos de MSA realizados em 2009, 2012 e 2015. Os estudos de R&R para a característica proposta e os resultados estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Resultados para variabilidade (desvio-padrão) do ensaio para Resistência a tração ( $R_m$ ).

Método	Parâmetro	Valor (MPa) 2009	Valor (MPa) 2012	Valor (MPa) 2015
$\bar{x}$ & R (Crossed)	R&R	0,96	1,86	0,60
	VE	0,53	0,49	0,53
	VA	0,80	1,79	0,28
ANOVA (Crossed)	R&R	1,46	1,90	0,66
	VE	0,64	0,58	0,58
	VA	0,73	1,71	0,30
	VAP	1,09	0,57	0,00
ANOVA (Nested)	R&R	0,64	0,58	0,61
	VE	0,64	0,58	0,61
	VA	0,00	0,00	0,00

**Legenda:** VE = Repetibilidade;  
VA = Reprodutibilidade;  
VAP = Interação de avaliador com ensaio

Observa-se que o método *Nested* apresenta resultados similares para o parâmetro R&R obtido ao longo do tempo. Em 2015, os resultados obtidos nos três métodos de avaliação não apresentaram diferenças significativas, decorrente de maior uniformidade nas amostras utilizadas, uma vez que melhorias têm sido feitas no processo de fabricação para redução da variabilidade no produto.

Assim, o Método *Nested* é recomendado para realizar o monitoramento da variabilidade do sistema de medição, considerando que a repetibilidade é impactada pelo método de ensaio.

Diante da inexistência de padrões de referência para os ensaios de tração, o melhor meio para avaliar a tendência do sistema de medição é através da participação em programas de ensaio de proficiência. No mesmo período que foram realizados os estudos de R&R, o laboratório participou em 2 programas de ensaio de proficiência organizados pelo provedor *Institut für Eignungsprüfung GmbH*, acreditado pelo *Dakks*. Em cada programa, foi utilizado como artefato de comparação corpos de prova com seção transversal retangular. Para determinação do valor designado e desvio-padrão do ensaio de proficiência (tabela 2), foram levados em consideração os resultados obtidos pelos laboratórios participantes [8]. Em 2010, na comparação participaram 47 laboratórios. No ano de 2014 teve-se a participação de 66 laboratórios.

Tabela 2 – Resultados dos programas de ensaio de proficiência para o limite de resistência

Parâmetro	Valor (MPa) 2010	Valor (MPa) 2014
Valor designado X	285,2	286,5
Desvio-padrão da homogeneidade	2,35	
Desvio-padrão do ensaio de proficiência $\hat{\sigma}$	4,8	3,4
Valor z $\left(z = \frac{(L-X)}{\hat{\sigma}}\right)$ [9]	-0,1	0,0

L = medida obtida pelo laboratório

Em comparação com os desvios-padrão obtidos no método *Crossed*, o desvio-padrão  $\hat{\sigma}$  foi significativamente maior, permitindo inferir que existe a influência do método, equipamentos e material na qualidade do resultado de ensaio de tração.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados de ensaios de proficiência são válidos para avaliar a tendência do laboratório, visto não existir amostras-padrão com valor convencional determinado. Para acompanhamento da repetibilidade do laboratório, a utilização do desvio-padrão proveniente do método *Nested* é pertinente e recomendável.

#### 5. REFERENCIAS:

- [1] Automotive Industry Action Group - AIAG 2010. Measurement Systems Analysis – MSA. Fourth Edition. Southfield: AIAG.
- [2] Garcia A, Spim J A e Santos C A 2015. Ensaios dos materiais. 2ª.Ed. Rio de Janeiro: LTC.
- [3] Skrivanek S 2009. Gage R&R acceptability. MoreSteam. Available in <https://www.moresteam.com/whitepapers/download/nested-gage-rr.pdf>.
- [4] Improveandinnovate. CSSBB Tutorial Series: Lesson 13. The Analyze Phase: Part IV: Analysis of Variance (ANOVA): Introduction. Available in <https://improveandinnovate.wordpress.com/tag/gage-r-r/>.
- [5] Benham D 2002. Non-replicable GRR - Case Study. Available in [www.aiag.org/publications/quality/msa3.html](http://www.aiag.org/publications/quality/msa3.html).
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO 6892-1: 2013 Materiais metálicos – Ensaio de tração. Método de ensaio à Temperatura. Rio de Janeiro, ABNT.
- [7] American Society for Testing and Materials. “ASTM E8/E8M: 2015 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials”. Pensilvânia, ASTM.
- [8] PTPM 1.1 2012. Guide to Proficiency Testing Australia. Australia, PTA.
- [9] International Organization for Standardization. ISO/IEC 17043:2010 Conformity assessment – General requirements for proficiency testing, ISO.