

ESTUDO DE REPETIBILIDADE E REPRODUTIBILIDADE EM UMA SIDERÚRGICA DE GRANDE PORTE

Diego Henriques Costa (IFMG) diegohenriques10@gmail.com

RESUMO

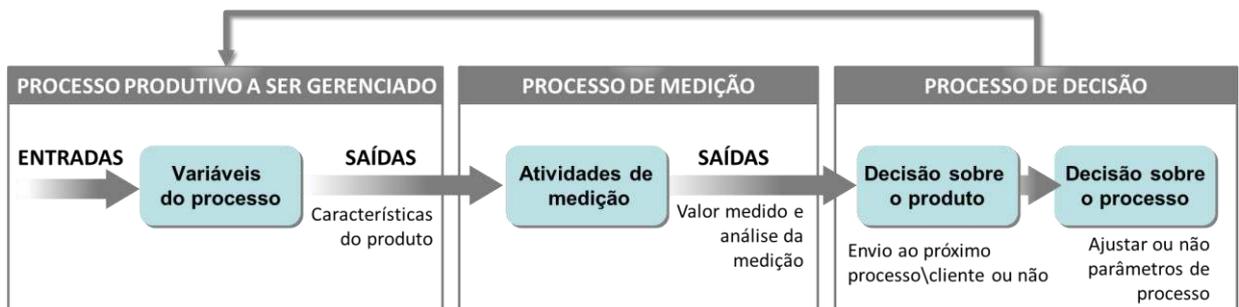
Este artigo apresenta a aplicação de um método estatístico para controle da qualidade que tem por intuito analisar e validar sistemas de medição, denominado estudo de *Repetibilidade e Reprodutibilidade* (R&R). Para realização desse trabalho, acompanhou-se a aplicação do estudo de R&R em vários sistemas de medição de uma siderúrgica de grande porte localizada no interior de Minas Gerais. Será apresentado todo escopo do trabalho, objetivo, desenvolvimento e condução do estudo, bem como os resultados finais, que evidenciam a importância da avaliação dos sistemas de medição, e ações subsequentes ao estudo.

Palavras Chaves: Repetibilidade e Reprodutibilidade, R&R, método ANOVA, sistemas de medição, MSA, siderurgia.

1. INTRODUÇÃO

Juran (1992) afirma que sem medição não há controle e sem controle não há gerenciamento. Logo, pode-se dizer que para ter um bom gerenciamento dos processos produtivos é necessário ter um bom sistema de medição que controle suas características. Todas as decisões sobre a aceitação ou rejeição de um produto, sobre seu envio para o processo subsequente, despacho para o cliente final ou descarte, bem como quais ações devem ser tomadas para ajustar alguma característica problemática do processo de manufatura é baseado em algum tipo de medição. O fluxograma abaixo (figura 1) ilustra esse esquema:

Figura 1: O processo de medição no gerenciamento de um processo produtivo



Fonte: adaptado de Werkema (2011)

Complementarmente, Menezes (2013) cita que, como no gerenciamento de processos os resultados das medições representam a base para a tomada de decisões, é necessário determinar, antes de qualquer decisão, se os sistemas de medição fornecem dados confiáveis.

Por mais que a organização já possua um processo de inspeção e controle da qualidade em pleno funcionamento, se esse não tiver sido previamente analisado, não é possível garantir que os resultados de suas atividades e medições sejam realmente aceitáveis. Esse processo pode até mesmo estar liberando produtos não conformes aos clientes e rejeitando produtos conformes. Daí, um dos grandes motivos de se realizar análises dos sistemas de medição.

Essa análise torna-se ainda mais crítica e necessária quando se trata de um novo processo produtivo e de novos sistemas de medição que ainda não foram avaliados, logo, não se conhece sua real eficácia e confiabilidade. Esse é o caso da empresa objeto de estudo, que havia apenas iniciado a fabricação de seus produtos, que são direcionados para o segmento de petróleo e gás. Para dar início a validação de seus sistemas de medição, optou-se pelo estudo da Repetibilidade e Reprodutibilidade (repetibilidade é também referenciada em algumas literaturas como repetitividade), cujos principais conceitos serão sucintamente apresentados nos itens a seguir.

2. Referencial teórico

2.1. Análises dos sistemas de medição

O manual de referência para Análises dos Sistemas de Medição – *Measurement Systems Analysis: MSA* (AIAG, 2010), cita que sistema de medição é o processo completo utilizado para obter um valor através das medições. Um sistema de medição abrange: os instrumentos de medição bem como seus dispositivos de fixação e acessórios; padrões que foram utilizados para calibrar ou verificar os instrumentos; pessoal, operações e métodos para realização da medição; ambiente de trabalho; software e premissas usadas para quantificar a unidade de medição ou corrigir a avaliação da característica que está sendo medida (AIAG, 2010). A figura 2 ilustra os elementos abrangidos por um sistema de medição.

Figura 2: Componentes de um sistema de medição



Fonte: elaborado pelo autor

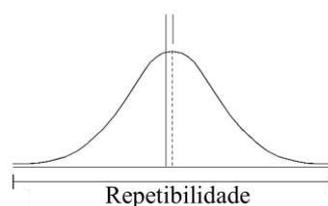
Cada um dos aspectos supracitados está sujeito à variabilidade, logo, a incertezas. Portanto, torna-se necessária a análise dos sistemas de medição e quantificação dos fatores associados (Werkema, 2011).

O manual de MSA da AIAG (2010) cita que existem diferentes fatores de um sistema de medição a serem analisados, sendo eles: Estabilidade, Tendência, Linearidade, Repetibilidade e Reprodutibilidade. Como já mencionado, para efeito do estudo de caso apresentado neste artigo, serão descritos os fatores referentes à análise de Repetibilidade e Reprodutibilidade.

2.2. Estudo de Repetibilidade de Reprodutibilidade

De acordo com a AIAG (2010), repetibilidade é a variação das medições obtidas com um mesmo instrumento de medição, quando utilizado várias vezes, pelo mesmo avaliador e medindo a mesma característica de uma mesma peça. Refere-se à variação em sucessivas medições, em um curto prazo, sob as mesmas e especificadas condições de trabalho. É comumente referida como a variação do instrumento de medição.

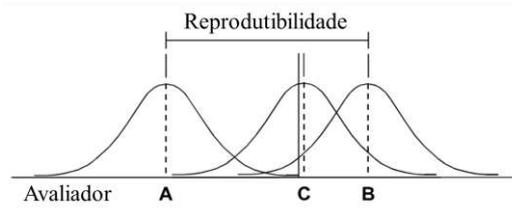
Figura 3: Representação gráfica da Repetibilidade



Fonte: adaptado de AIAG, 2010

Ainda conforme a AIAG (2010), reprodutibilidade é a variação na média das medições realizadas por diferentes avaliadores, utilizando o mesmo instrumento de medição, para medir a mesma característica de uma mesma peça. Ou seja, a única variável que muda em relação à repetibilidade é o avaliador, por isso, reprodutibilidade é conhecida como variação do avaliador.

Figura 4: Representação gráfica da Reprodutibilidade

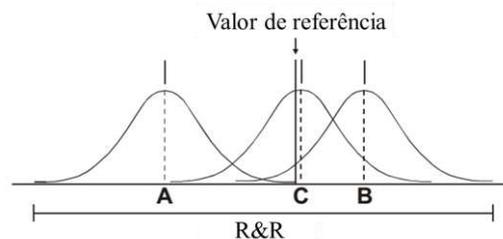


Fonte: adaptado de AIAG, 2010

Já o R&R, é uma estimativa da variação combinada da repetibilidade e da reprodutibilidade de um sistema de medição (AIAG, 2010). Dito de outra forma, o R&R é a variância resultante da soma das variâncias dentro de um mesmo sistema e entre sistemas de medição, representado pela fórmula:

$$\sigma^2_{R\&R} = \sigma^2_{\text{Repetibilidade}} + \sigma^2_{\text{Reprodutibilidade}}$$

Figura 5: Representação gráfica de R&R



Fonte: adaptado de AIAG, 2010

É mencionado no manual de MSA (AIAG, 2010) que diferentes técnicas podem ser utilizadas para realizar o estudo de R&R, sendo elas: Método da amplitude, Método da média e amplitude e Método ANOVA. Apesar dos cálculos serem mais complexos e requererem uso

de um computador, o método ANOVA é o mais recomendável, pois, ele fornece a melhor estimativa entre os métodos e também mede a variação de erros de medição e interação entre operadores e peças medidas, resultados esses que não são obtidos através das outras técnicas. Por isso, as etapas seguintes, referentes à preparação, condução e análise dos resultados do estudo, são baseadas no método ANOVA.

2.2.1. Preparação para o estudo de R&R

O manual de referência da AIAG (2010) frisa que suficiente planejamento e preparação devem ser realizados antes de se conduzir a análise do sistema de medição. Baseado nesse manual, uma preparação típica deve incluir:

- a) A seleção de um responsável e condutor do estudo, que deve ser uma pessoa ciente da importância da análise e confiabilidade de um sistema de medição;
- b) A seleção dos avaliadores e quantos avaliadores serão necessários para o estudo. É recomendável selecionar operadores que normalmente executam a atividade e manipulam o instrumento do sistema de medição a ser avaliado;
- c) Os instrumentos de medição que serão utilizados pelos avaliadores. Todos os instrumentos devem estar em perfeitas condições de uso e devidamente calibrados contra padrões rastreáveis. Além disso, os instrumentos devem ter uma precisão de pelo menos um décimo da variação esperada pela grandeza a ser analisada, por exemplo: se a escala de variação de uma determinada característica é de 0,01 o instrumento deve ser capaz de medir um escala de 0,001.
- d) As operações e o método de medição da grandeza avaliada devem ser garantidamente o mesmo;
- e) As amostras que serão representativas do processo de produção, e número de amostras necessárias para o estudo. Essas devem ser selecionadas aleatoriamente no processo produtivo, não sendo sequenciais;
 - Abackerli et al (2015) observa que para ter resultados significativos, o número de amostras multiplicado pelo número de avaliadores deve ser pelo menos igual a dezesseis. Exemplo: se três operadores participarem do estudo, pelo menos seis peças serão necessárias. No entanto, quanto maior o número de amostras, maior a representatividade dos resultados.

- f) O número de repetições de medições;
- g) A criticidade da grandeza avaliada, sendo que, quanto mais crítica, mais amostras e repetições são requeridas. Deve-se levar em consideração também requisitos de clientes;
- h) Os valores nominais e limites de controle das características medidas. Esses podem ser obtidos através de requisitos de clientes, normas aplicáveis ao produto em análise, definições da engenharia ou do resultado de medições realizadas por uma pessoa considerada especialista na atividade em questão.

2.2.2. Condução do estudo de R&R

Abackerli et al (2015) cita que a realização do estudo de R&R se baseia em uma sequência de procedimentos e coleta de dados específicos que garante um banco de dados necessário para geração das conclusões estatísticas. Baseado e sumarizado da AIAG (2010) e de Abackerli et al (2015), essa sequência de procedimentos e coleta de dados é:

- a) O avaliador A deve realizar a medição de cada característica analisada, de cada amostra, em uma sequência aleatória;
- b) O responsável pela condução do estudo deve registrar o resultado de cada medição, mantendo sigilo para o operador sobre a identificação das amostras;
 - Para registro, processamento dos dados coletados e chegada de conclusões sobre os sistemas de medição avaliados, recomenda-se o uso de software específico ou a elaboração prévia de uma planilha que realize todos os cálculos necessários conforme estipulados no manual da AIAG, tais como cálculos da média e amplitude por peça, entre operador e do sistema de medição.
- c) Selecionar o avaliador B e repetir os passos a) e b) em ordem aleatória diferente, registrando igualmente os resultados;
- d) Repetir o passo c) com o avaliador C;
- e) Repetir todo o procedimento mais duas vezes para gerar três réplicas de medição de cada amostra, para cada operador.

2.2.3. Análise dos resultados do estudo de R&R

Em resumo aos critérios de análise dos resultados e aceitação de um sistema de medição através do estudo de R&R, temos o quadro (figura 6) abaixo:

Figura 6: critérios de aceitação por R&R

Valor de R&R	Decisão	Comentários
Abaixo de 10%	Geralmente considerado um sistema de medição aceitável	Recomendado, especialmente útil ao tentar ordenar ou classificar peças ou quando o controle de processo é restritivo.
Entre 10 e 30%	Pode ser aceitável para algumas aplicações	A decisão deve basear-se na criticidade da aplicação da grandeza medida, no custo do instrumento de medição, custo de retrabalho ou reparo. Deve ser aprovado pelo cliente.
Acima de 30%	Considerado inaceitável	Todo esforço deve ser realizado para melhorar o sistema de medição. Essa condição pode ser resolvida através da utilização de uma estratégia de medição adequada. Por exemplo: pode-se utilizar o resultado médio de várias leituras da mesma característica da peça a fim de reduzir a variação final de medição.

Fonte: adaptado de AIAG (2010)

2.3. Análise dos sistemas de medição por atributo

Sistemas de medição por atributos são categorias de sistemas que não possuem como resultado das medições valores variáveis; os resultados das medições são valores fixos ou resultados únicos dentro de limitadas possibilidades (AIAG, 2010). Uma prática comum desses sistemas é a utilização de padrões\calibradores do tipo passa\não passa, que possuem apenas dois resultados possíveis: aprovado ou reprovado. Também existem padrões do tipo visual, que podem resultar em diferentes tipos de classificação, tais como: muito bom, bom, suficiente, ruim, muito ruim.

A AIAG (2010) cita dois métodos específicos de análise dos sistemas de medição por atributo: Análise dos testes e hipóteses e Teoria da detecção de sinal. Para efeito do estudo de caso deste artigo, será apresentado sucintamente o método Análise dos testes de hipóteses.

2.3.1. Análise dos testes de hipóteses

Consiste em quantificar o grau de concordância dos resultados das avaliações entre avaliadores e\ou com a classificação do resultado padrão (esperado\especialista) (AIAG, 2010). Para determinar o nível desta concordância, é utilizado o índice *kappa*, que mede a

concordância entre as avaliações dos avaliadores e especialista, quando ambos estão classificando a mesma peça. O valor 1 denota concordância e o valor 0 denota discordância da avaliação pelos avaliadores, sendo (adaptado de AIAG, 2010):

$$Kappa = \frac{\sum P_o - \sum P_e}{1 - \sum P_e} \quad \text{onde: } P_o = \text{valor obtido} \\ P_e = \text{valor esperado}$$

Dentre outros cálculos, o resultado final da eficácia do sistema de medição em estudo se dará através do número de decisões corretas sobre o número total de oportunidades para decisão (adaptado de AIAG, 2010):

$$Eficácia = \frac{\text{número de decisões corretas}}{\text{total de oportunidades para decisão}}$$

Os critérios finais para decisão sobre o sistema de medição pelo método análise dos testes de hipóteses são:

Figura 7: critérios de decisão para método análise dos testes de hipóteses

Resultado da Eficácia	Sistema de medição:		
	Taxa de erro	Taxa de alarme falso	Decisão
≥ 90%	≤ 2%	≤ 5%	Aceitável
≥ 80%	≤ 5%	≤ 10%	Razoavelmente aceitável: pode precisar de melhorias
< 80%	> 5%	> 10%	Inaceitável: precisa de melhorias

Fonte: adaptado de AIAG, 2010

Como esse método também considera a concordância das avaliações dos avaliadores com eles mesmos e entre outros avaliadores, também é possível calcular a repetibilidade e reprodutibilidade dos sistemas de medição por atributos. Os processos de preparação e condução da análise dos sistemas de medição por atributo são similares aos descritos nos itens 2.2.1 e 2.2.2 deste artigo.

3. Estudo de caso: aplicação do estudo de R&R

A engenharia da área de Controle da Qualidade da empresa objeto de estudo, decidiu dar início a validação de seus sistemas de medição pelo estudo de R&R, devido à grande quantidade de peças inspecionadas, que possuem muitas características, medidas com diversos instrumentos de medição e por diferentes inspetores, em diferentes turnos e horários de trabalho. Logo, há grande possibilidade que existam variações dos resultados de medições pelos instrumentos de medição, pelos próprios inspetores e entre eles.

Para correta aplicação do estudo de R&R, foi elaborado um documento formal que contempla o escopo completo do trabalho, objetivos, desenvolvimento, responsáveis e suas ações para cada etapa do estudo, conforme itens abaixo (adaptado). A empresa já possuía uma planilha padrão (proveniente de uma empresa parceira do mesmo grupo) com relatórios para estudo de R&R, que inclui todas as fórmulas e cálculos necessários para geração dos resultados das análises.

Todo este estudo foi planejado, conduzido e analisado conforme o manual de MSA da AIAG e etapas descritas no item 2, Referencial Teórico, deste artigo.

3.1. Escopo do programa e preparação para o estudo de R&R

a) Objetivo:

- Avaliação dos sistemas de medição através do estudo de R&R para características definidas como críticas ou importantes para garantir a qualidade dos produtos.

b) Desenvolvimento (por número sequencial de ação):

1. Definir as características a serem estudadas;
2. Definir um especialista para realização das medições, cujos valores obtidos serão considerados os valores nominais da peça;
3. O especialista deve providenciar dez amostras de tubos produzidos (pela própria empresa) e identificá-las;
4. O especialista deve pintar, nas amostras selecionadas, locais específicos onde devem ser realizadas as medições das características definidas, com o intuito de evitar erros devido à variabilidade dimensional natural ao longo da peça;

5. O especialista deve selecionar os melhores instrumentos de medição (mais novos e precisos) adequados para realização das medições das características definidas, devidamente calibrados;
6. Realização das medições pelo especialista nas regiões delimitadas e registro dos valores encontrados no relatório padrão da empresa;
7. O técnico deve selecionar aleatoriamente três inspetores qualificados (formalmente treinados e aprovados nas provas de qualificação para a função) em inspeção visual e dimensional para orientação e realização do estudo;
8. O técnico deve acompanhar as medições realizadas pelos inspetores em cada característica de cada amostra e registrar os valores encontrados no relatório padrão;
9. Repetir, em dias e horários diferentes, a etapa anterior até que sejam realizadas três medições de cada característica em cada amostra pelos três inspetores.

c) Resultados:

10. De posse de todos os resultados obtidos, o técnico deve lançar os valores na planilha de estudo R&R padrão da empresa para geração das Cartas de Controle e resultados do estudo;
11. Analisar resultados e emitir relatório técnico;
12. Enviar relatório técnico para supervisores e engenheiros, bem como para o gerente da área, para parecer final e definição das ações subsequentes.

3.2. Condução do estudo de R&R

O estudo de R&R foi conduzido conforme planejado e os resultados foram:

1. Em relação às características a serem estudadas, após reunião entre técnico, supervisores e engenheiros envolvidos, foram definidos cinco sistemas de medição a serem avaliados no produto da empresa (tubos de aço sem costura), sendo quatro características variáveis: a) diâmetro externo de tubo, b) comprimento do tubo, c) espessura de parede e d) perpendicularidade, e uma característica por atributo: e) inspeção visual das superfícies externa e interna do tubo;

2. Os engenheiros envolvidos escolheram um dos supervisores mais experientes da área para ser o especialista;
- 3 e 4. O especialista selecionou as amostras para estudo de R&R (figura 8) e delimitou as regiões a serem medidas (figura 9);

Figuras 8 e 9: amostras selecionadas e exemplos de delimitações das áreas a serem medidas



Fonte: arquivos da empresa

5. O especialista selecionou os melhores e adequados instrumentos para realização das medições (figura 10);

Figura 10: Instrumentos de medição utilizados



Fonte: arquivos da empresa

6. O especialista realizou as medições e registrou os valores obtidos para serem os nominais, sendo: a) 219,59mm, tolerância de 2,2mm (1% sobre o valor nominal); b) 998,2mm, tolerância de 24,96mm (2,5% sobre o valor nominal); c) 8,36mm, tolerância de 1,04mm (12,5% sobre o valor nominal), d) 0,81mm, limite superior de 1,6mm (valor fixo). Os valores das tolerâncias foram retirados das normas aplicáveis aos produtos e características em questão. Para a característica por atributo (e) o especialista avaliou se as amostras eram isentas de defeitos (conforme) ou não (não conforme), bem como registrou os tipos de defeitos que constavam em cada peça;
- 7, 8 e 9. O técnico selecionou os inspetores qualificados, acompanhou todas as três rodadas de medições, pelos três inspetores, nas dez amostras, em todas as características definidas, em dias e ocasiões diferentes, conforme planejado.
10. De posse de todos os resultados das medições, o técnico lançou os valores na planilha de estudo de R&R padrão da empresa, conforme exemplo abaixo (Figura 11), proveniente do estudo do diâmetro externo das amostras dos tubos.

Figura 11: Planilha de estudo de R&R com valores do diâmetro externo dos tubos

MEDIÇÕES																	
Peça Nº	Operador 1					Operador 2					Operador 3					//X	//R
	1ª Medição	2ª Medição	3ª Medição	Média /X	Amplitude R	1ª Medição	2ª Medição	3ª Medição	Média /X	Amplitude R	1ª Medição	2ª Medição	3ª Medição	Média /X	Amplitude R		
1	219,38	219,52	219,42	219,44	0,14	219,32	219,42	219,54	219,43	0,22	219,48	219,48	219,32	219,43	0,16	219,43	0,17
2	219,42	219,58	219,42	219,47	0,16	219,52	219,52	219,6	219,55	0,08	219,54	219,42	219,56	219,51	0,14	219,51	0,13
3	219,72	219,64	219,32	219,56	0,4	219,46	219,3	219,62	219,46	0,32	219,58	219,52	219,68	219,59	0,16	219,54	0,29
4	219,56	219,62	219,5	219,56	0,12	219,56	219,56	219,44	219,52	0,12	219,7	219,44	219,4	219,51	0,3	219,53	0,18
5	219,54	219,56	219,4	219,50	0,16	219,48	219,44	219,52	219,48	0,08	219,4	219,48	219,36	219,41	0,12	219,46	0,12
6	219,38	219,32	219,4	219,37	0,08	219,42	219,4	219,44	219,42	0,04	219,34	219,36	219,26	219,32	0,1	219,37	0,07
7	219,62	219,42	219,62	219,55	0,2	219,42	219,46	219,5	219,46	0,08	219,24	219,28	219,32	219,28	0,08	219,43	0,12
8	219,42	219,46	219,52	219,47	0,1	219,62	219,54	219,56	219,57	0,08	219,36	219,34	219,42	219,37	0,08	219,47	0,09
9	219,76	219,72	219,76	219,75	0,04	219,62	219,66	219,6	219,63	0,06	219,58	219,6	219,56	219,58	0,04	219,65	0,05
10	219,52	219,62	219,64	219,59	0,12	219,62	219,6	219,64	219,62	0,04	219,62	219,66	219,54	219,61	0,12	219,61	0,09
				219,53	0,152					219,51	0,112					219,46	0,13
				//X1	//R1					//X2	//R2					//X3	//R3
Média Geral =					219,50022						//R =	0,131					

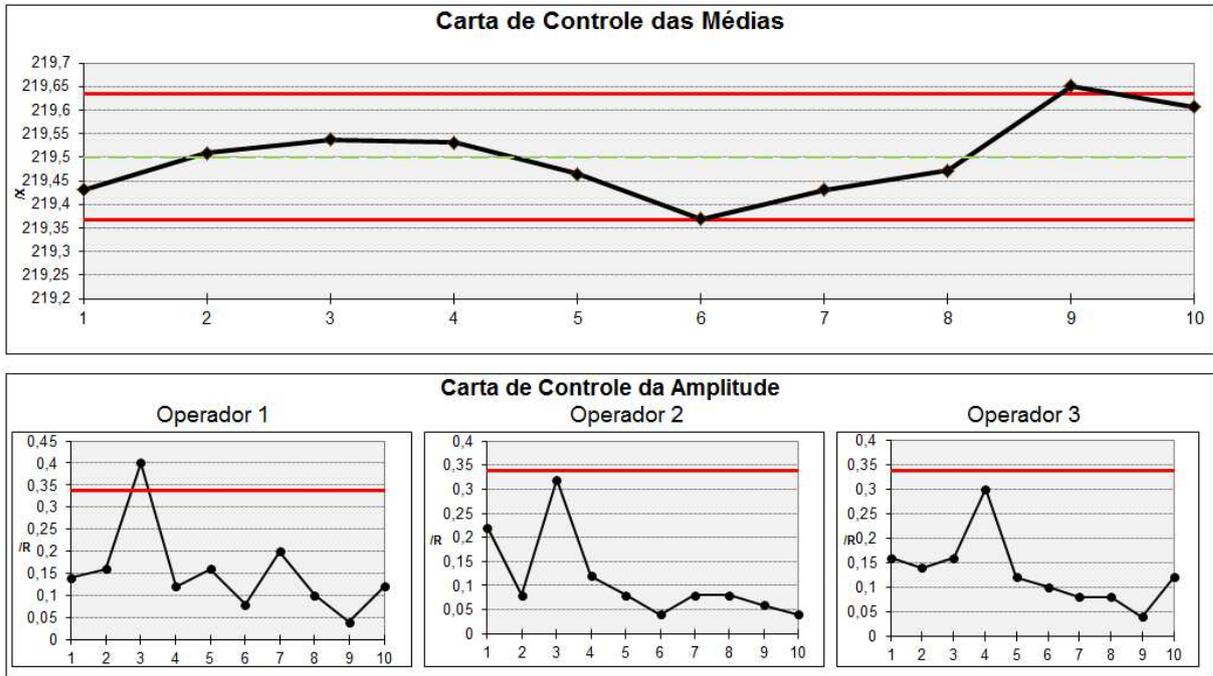
Fonte: arquivos da empresa

3.3. Resultados do estudo de R&R

A planilha de estudo de R&R utilizada pela empresa gerou cartas de controle e os seguintes resultados para cada sistema de medição, que foram analisados e utilizados para geração de relatórios pelo técnico (ação 11):

a) Diâmetro externo de tubo

Figura 12: Cartas de controle do sistema de medição diâmetro externo do tubo



Fonte: arquivos da empresa

Figura 13: Constatações sobre sistema de medição diâmetro externo do tubo

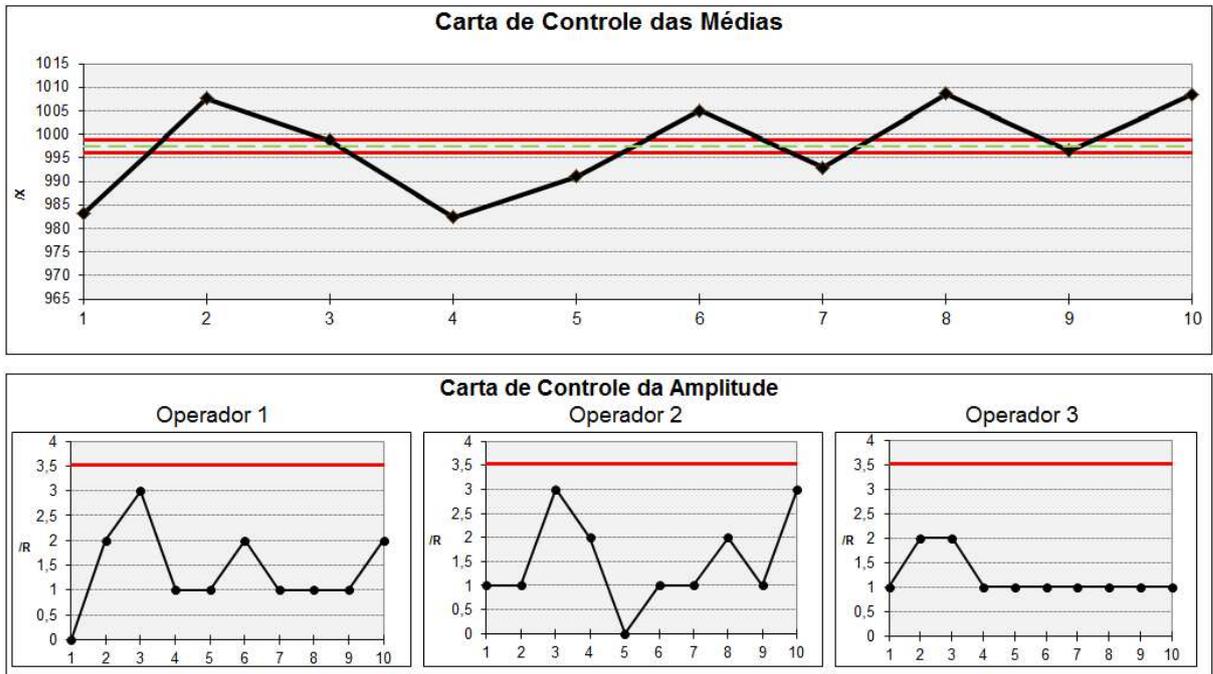
Constatações:	
O valor da amplitude ultrapassou o limite superior de controle em uma amostra para um inspetor	
Média global obtida pelos inspetores:	219,50mm (referência 219,59mm)
Repetibilidade do sistema:	86,4%
Reprodutibilidade do sistema:	13,6%
R&R:	22,8%
Resultado final:	Sistema de Medição Adequado

Fonte: arquivos da empresa

Observação: baseado, mas não idêntico, aos critérios da AIAG (2010) conforme demonstrados na figura 6 deste artigo, a empresa adotou um critério único para aprovação do sistema de medição pelo valor de R&R, sendo: $\leq 25\%$, aprovado; $> 25\%$ reprovado.

b) Comprimento do tubo

Figura 14: Cartas de controle do sistema de medição comprimento do tubo



Fonte: arquivos da empresa

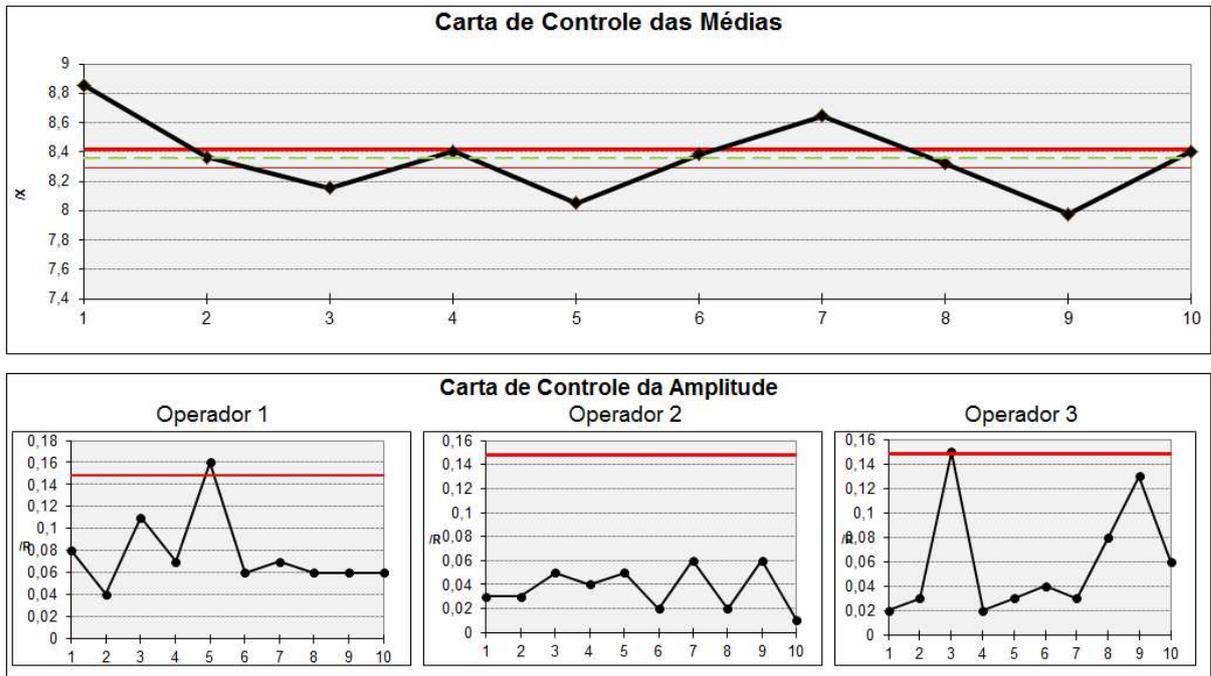
Figura 15: Constatações sobre sistema de medição comprimento do tubo

Constatações:	
O valor da amplitude não ultrapassou nenhum limite de controle	
Média global obtida pelos inspetores:	997,43mm (referência 998,2mm)
Repetibilidade do sistema:	89,5%
Reprodutibilidade do sistema:	10,5%
R&R:	20,5%
Resultado final:	Sistema de Medição Adequado

Fonte: arquivos da empresa

c) Espessura de parede

Figura 16: Cartas de controle do sistema de medição espessura de parede



Fonte: arquivos da empresa

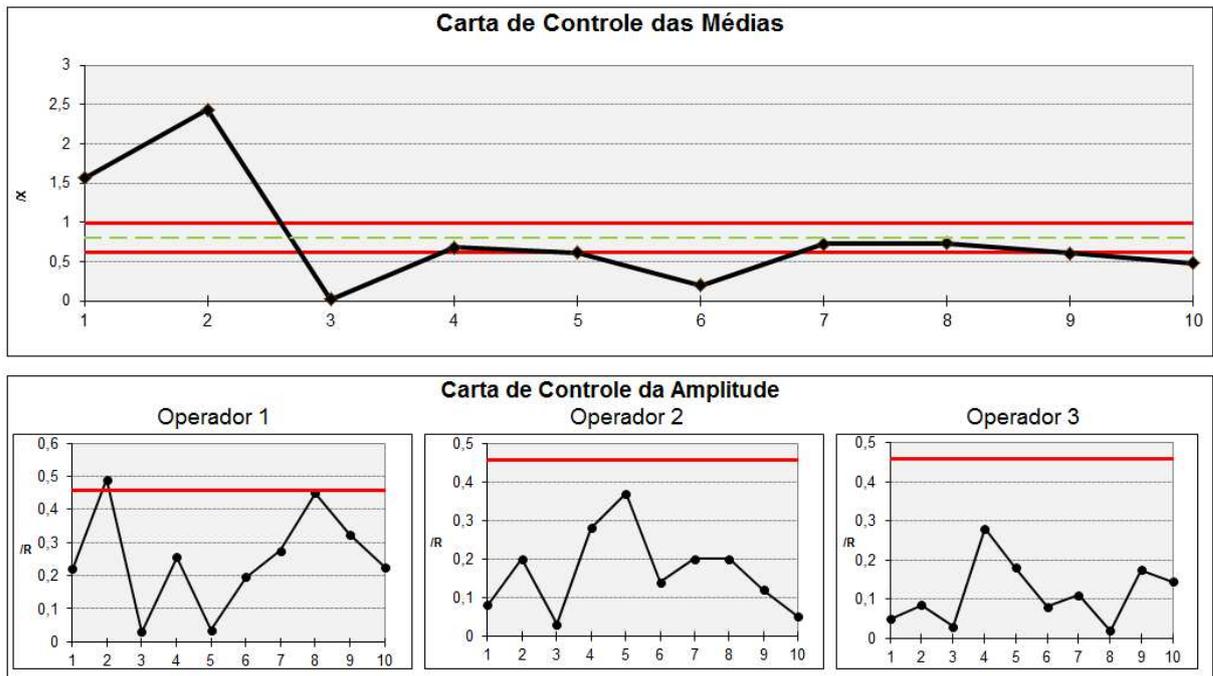
Figura 17: Constatações sobre sistema de medição espessura de parede

Constatações:	
O valor da amplitude ultrapassou o limite superior de controle em uma amostra para dois inspetores	
Média global obtida pelos inspetores:	8,35mm (referência 8,36mm)
Repetibilidade do sistema:	75,5%
Reprodutibilidade do sistema:	24,5%
R&R:	22,6%
Resultado final:	Sistema de Medição Adequado

Fonte: arquivos da empresa

d) Perpendicularidade

Figura 18: Cartas de controle do sistema de medição perpendicularidade



Fonte: arquivos da empresa

Figura 19: Constatações sobre sistema de medição perpendicularidade

Constatações:	
O valor da amplitude ultrapassou o limite superior de controle em uma amostra para um inspetor	
Média global obtida pelos inspetores:	0,80mm (referência 0,81mm)
Repetibilidade do sistema:	95,1%
Reprodutibilidade do sistema:	4,9%
R&R:	40,3%
Resultado final:	Sistema de Medição Não Apropriado

Fonte: arquivos da empresa

e) Sistema de Medição por Atributo: Inspeção visual

Os inspetores avaliaram visualmente as superfícies externas e internas dos tubos em busca de defeitos. O critério definido para decisão de conformidade era a isenção de defeitos superficiais, sendo neste caso a peça considerada conforme. Caso algum defeito fosse detectado, o resultado era não conforme e a peça considerada reprovada. O resultado das

avaliações foi lançado na planilha de análise pelo método testes de hipóteses (figura 20) e os resultados finais constam abaixo (figura 21).

Figura 20: Planilha do método testes de hipóteses com resultado das inspeções visuais

MEDIÇÕES															
Operador 1				Operador 2				Operador 3				Especialista Medição "Referência"	Repetibili- dade de Operador 3	Repetibilid- e sem especialista	Repetibilid- com especialista
1ª Medição	2ª Medição	3ª Medição	Repetibilidade Operador 1	1ª Medição	2ª Medição	3ª Medição	Repetibilidade Operador 2	1ª Medição	2ª Medição	3ª Medição	Repetibilidade Operador 3				
NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	1	1	1
NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	1	1	1
NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	C	C	C	1	C	1	0	1
NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	1	1	1
NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	C	C	C	1	C	1	0	1
NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	1	1	1
NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	1	1	1
NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	1	1	1
NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	1	1	1
NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	1	1	1
NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	1	1	1
NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	1	1	1
NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	NC	NC	1	NC	1	1	1

Fonte: arquivos da empresa

Figura 21: Tabelas de constatações e resultados do sistema de medição por atributo

	Reprodutibilidade		Operador 1	Operador 2	Operador 3
	Entre operadores	Com especialista			
Total inspecionado	10	10	10	10	10
Problemas de repetibilidade	0	0	0	0	0
Problemas de reprodutibilidade	2	2	1	1	1
Problema geral	2	2	1	1	0
95% LSC	97,48%	97,48%	99,7%	99,7%	99,7%
Pontuação s %	80,00%	80,00%	90,00%	90,00%	90,00%
95% LIC	44,39%	44,39%	55,5%	55,5%	55,5%
CONCLUSÃO	NÃO OK	NÃO OK	OK	OK	OK

Fonte: arquivos da empresa

O critério utilizado pela empresa para aprovação ou não do sistema de medição por atributos foi idêntico ao citado na AIAG (2010), conforme figura 7 deste artigo. Logo, analisando os resultados do estudo, percebe-se que houve uma discrepância no julgamento da conformidade das peças entre os inspetores e entre os inspetores e o especialista, gerando um índice de eficácia para a reprodutibilidade do sistema considerado razoavelmente aceitável.

Apesar de não ser parte do escopo do estudo de R&R, foi constatado também que existe uma divergência entre as definições de tipos de defeitos relatados pelos inspetores, em comparação com a definição deles mesmos e com o especialista, conforme apresentando na figura 22. Esta situação pode prejudicar na identificação da real causa originadora do defeito e, conseqüentemente, levar a tomada de uma ação não efetiva.

Figura 22: Tabela de defeitos relatados pelos inspetores e especialista

Peça N°	Especialista	Operador 1	Operador 2	Operador 3
	DEFEITOS	DEFEITOS	DEFEITOS	DEFEITOS
1	01 Buraco interno	02 defeitos mecânicos a frio longitudinal 01 risco	01 defeito mecânico a frio transversal	01 buraco interno
2	01 defeito mecânico a frio transversal 01 amassamento	02 defeitos mecânicos a frio transversal 01 amassamento	01 defeito mecânico a frio transversal 01 amassamento	01 defeito mecânico a frio transversal 01 amassamento
3	Sem defeito	01 defeito mecânico a frio longitudinal	02 defeitos mecânicos a frio longitudinal	Sem defeito
4	01 defeito mecânico a frio transversal	01 defeito mecânico a frio longitudinal	01 defeito mecânico a frio transversal	01 defeito mecânico a frio transversal
5	01 defeito mecânico a frio transversal	02 defeitos mecânicos a frio transversal	03 defeitos mecânicos a frio transversal 01 amassamento	Sem defeito
6	01 defeito mecânico a frio transversal 01 defeito mecânico a frio longitudinal	01 defeito mecânico a frio transversal	02 defeitos mecânicos a frio transversal 01 defeito mecânico a frio longitudinal	01 defeito mecânico a frio transversal
7	02 defeitos mecânicos a frio transversal 01 buraco interno	01 defeito mecânico a frio transversal	03 defeitos mecânicos a frio transversal 01 defeito mecânico a quente	01 defeito mecânico a quente 01 amassamento 01 buraco interno
8	01 defeito mecânico a frio transversal	03 defeitos mecânicos a frio transversal	01 defeito mecânico a frio transversal	01 defeito mecânico a quente oblíquo
9	03 defeitos mecânicos a frio transversal 01 buracos internos	02 defeitos mecânicos a frio longitudinal 01 risco	03 defeitos mecânicos a frio transversal 01 buraco interno	02 defeitos mecânicos a frio transversal 02 buracos internos
10	02 defeitos mecânicos a frio transversal 01 amassamento	04 defeitos mecânicos a frio transversal 01 buraco interno	01 defeito mecânico a frio transversal 01 amassamento	02 defeitos mecânicos a frio transversal 01 amassamento

■ Mesmo defeito mencionado pelo especialista

■ Defeito mencionado divergente do especialista

Fonte: arquivos da empresa

3.4. Ações subsequentes ao estudo de R&R

De posse do relatório final do estudo de R&R, os envolvidos no estudo decidiram (ação 12 do escopo do programa): para a quarta característica estudada, perpendicularidade, que teve como resultado do estudo um sistema de medição considerado inapropriado, realizar um novo treinamento prático em inspeção dimensional, enfatizando a medição de perpendicularidade.

Já para o estudo de R&R por atributo que avaliou o sistema de medição de inspeção visual, foi definida a criação de um novo padrão operacional visual, contendo fotos, descrição e (possível) origem de todos os defeitos já produzidos e reconhecidos pelo processo de manufatura dos produtos até o momento. Após a criação deste documento, todos os inspetores que realizam atividades de inspeção visual e dimensional dos produtos foram devidamente treinados.

Após o estudo de R&R da primeira área de inspeção e controle da qualidade, o gerente do setor definiu pela expansão do estudo para outra área, em um ponto mais avançado do processo produtivo, que verifica outras características do produto, sendo essas mais complexas e com tolerâncias mais restritivas, conforme será apresentado a seguir.

3.5. Estudo de R&R para postos de inspeção na linha de acabamento

A metodologia, escopo e ações tomadas para a realização do estudo nos postos de inspeção da linha de acabamento foram idênticos ao do estudo anterior, que, em suma foram: 1) a engenharia e supervisão avaliaram e identificaram as variáveis críticas e importantes do produto a serem analisadas, resultando na definição de cinco sistemas de medição (que serão apresentados a seguir); 2) um supervisor foi selecionado para conduzir todo o estudo; 3) o supervisor selecionou dez amostras do produto; 4) o supervisor selecionou os melhores instrumentos disponíveis; 5) o supervisor selecionou três inspetores de forma aleatória; 6) o supervisor acompanhou as medições com os inspetores, registrou e analisou os valores obtidos.

Neste estudo não foi utilizado a função especialista para comparação dos resultados encontrados pelos inspetores, utilizou-se normas aplicáveis ao produto em questão para definição dos valores nominais e tolerâncias.

Os resultados obtidos através das medições foram lançados na planilha padrão da empresa e as conclusões finais, por sistema de medição definido, foram as seguintes:

Figura 23: Resultados finais do estudo de R&R

Sistema de medição	Valor de R&R	Resultado
a) Diâmetro médio de rosca	42,8%	Sistema de medição não apropriado
b) Diâmetro médio de selo de rosca	27,1%	Sistema de medição não apropriado
c) Ovalização de selo de rosca	16,7%	Sistema de medição apropriado
d) Passo de rosca	38,9%	Sistema de medição não apropriado
e) Profundidade do filete de rosca	0,0%	Sistema de medição apropriado

Fonte: arquivos da empresa (adaptado)

3.5.1. Ações subsequentes ao estudo de R&R

Investigações foram conduzidas posteriormente pelos engenheiros e supervisor responsável pelo estudo para identificação das prováveis causas dos resultados ruins e suas respectivas ações para tratar os problemas. Em suma, foi definido:

Figura 24: Causas e ações para resultados ruins de R&R

Sistema de medição	Valor de R&R	Possíveis causas do resultado ruim	Ações
a) Diâmetro médio de rosca	42,8%	- Erro de paralaxe provocado pela posição do relógio quando a medição é feita de cabeça para baixo; - Erro de cálculo da média entre o mínimo e o máximo.	- Medir somente 90° no perímetro do tubo. - Manter memória de cálculo dos valores encontrados.
b) Diâmetro médio de selo de rosca	27,1%	- Erro de paralaxe provocado pela posição do relógio quando a medição é feita de cabeça para baixo; - Erro de cálculo da média entre o mínimo e o máximo.	- Medir somente 90° no perímetro do tubo. - Manter memória de cálculo dos valores encontrados.
c) Ovalização de selo de rosca	16,7%	-	-
d) Passo de rosca	38,9%	- Pontos de medição diferentes entre inspetores.	- Marcar ponto de inspeção para padronização da medição entre os inspetores.
e) Profundidade do filete de rosca	0,0%	-	-

Fonte: arquivos da empresa (adaptado)

4. Considerações finais

Através desse estudo e artigo fica evidente a importância da condução de análises dos sistemas de medição de forma a conhecer a precisão e confiabilidade dos sistemas, garantir a eficácia dos processos de inspeção e controle da qualidade e, conseqüentemente, garantir a qualidade do produto.

É notável também que, mesmo instrumentos de medições novos e dos mais sofisticados, operadores devidamente treinados e condições de trabalho similares não são garantia da eficácia, repetibilidade e reprodutibilidade dos sistemas de medição, o que destaca ainda mais a relevância da realização de análises desses sistemas.

Dada a criticidade dos processos de medição, o fato que diversas decisões sobre o produto e processo produtivo derivam desses, e, segundo orientação do manual de referência para análises dos sistemas de medição (AIAG, 2010), a aceitação final de um sistema de medição não deve ser baseada no estudo de apenas uma de suas características e fontes de variação. Logo, recomenda-se que outras técnicas de análises, tais como o estudo de estabilidade, tendência e linearidade, conforme descritas no manual de MSA da AIAG, sejam utilizadas, de

acordo com sua aplicabilidade em cada processo. Além disso, o desempenho dos sistemas de medição deve ser reavaliado periodicamente para garantir que continuam eficazes.

REFERÊNCIAS

ABACKERLI, Alvaro J., PEREIRA, Paulo H., OLIVEIRA, Maria C., MIGUEL, Paulo A. Cauchick. **Metrologia para a qualidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

Automotive Industry Action Group (AIAG). **Measurement Systems Analysis (MSA): Reference Manual**. Fourth Edition. AIAG, 2010.

JURAN, Joseph Moses. **A qualidade desde o projeto: novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços**. São Paulo: Pioneira, 1992.

MENEZES, Felipe Morais. **MSA: Análise dos sistemas de medição**. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Porto Alegre: PRODUTTARE, 2013.

WERKEMA, Cristina. **Avaliação de sistemas de medição**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.